
ACADEMY
La revista de Gran Turismo
PlayStation
nismo
PlayStation
NISSAN


NISSAN
a
Más allá de Apex
PlayStation
NISSAN


WWW.SILVERS

GT ACADEMY

2008-2013

G T   A C A D E M Y
2 0 0 8 - 2 0 1 3

Gran Turismo: Despierta, inspira
y nutre el talento de conducción potencial.



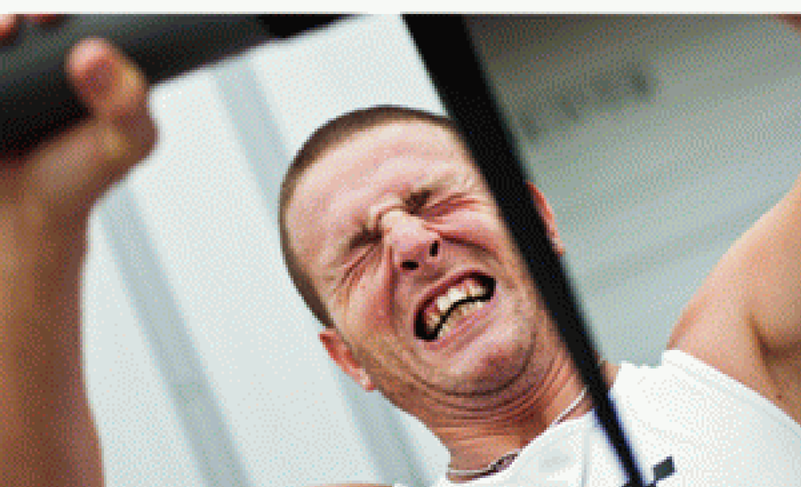






15TH ANNIVERSARY
NISSAN
nismo

En uno de los circuitos más sagrados del automovilismo,



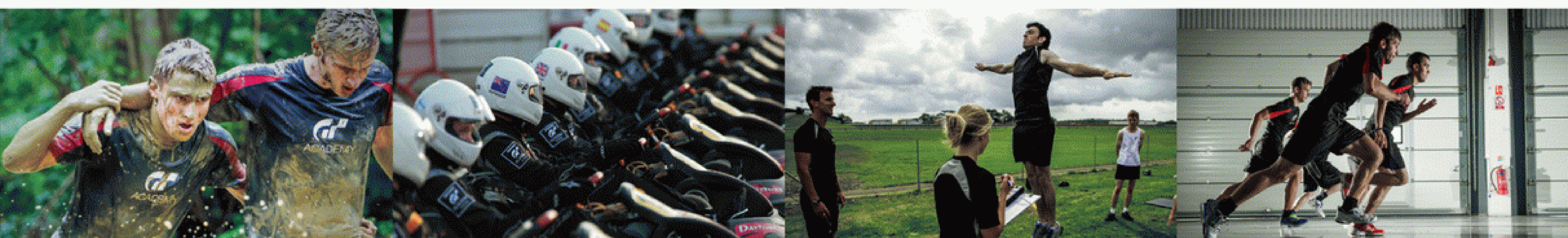







GT ACADEMY
2008-2013

la determinación y la capacidad de conducción de unos pocos elegidos son llevadas al límite.



Elige tu propia configuración de potencia y sistema de tracción.
Participa en 1000 eventos contrarreloj.
Trasciende la experiencia del mundo real con el simulador de conducción más moderno.

Ve más allá.
La GT Academy se creó en 2008. Su misión: ayudar a quienes perfeccionaron sus habilidades en Gran Turismo a hacer posibles sus sueños de convertirse en verdaderos pilotos de carreras.



En los años siguientes, el proyecto creció y se expandió de manera radical. En 2012, un total de 1,4 millones de jugadores de Europa, América, Rusia, Sudáfrica y Medio Oriente participaron en etapas de clasificación online.

Así que, como ves, no hay razón para que nadie renuncie a sus sueños de convertirse en verdadero piloto de carreras. Algún día, el que se pare en el escalón más alto del podio de un famoso circuito, disfrutando del aplauso de decenas de miles de fanáticos, puedes ser tú.



La verdadera naturaleza de nuestro carácter se expone en su totalidad.





GT ACADEMY
2008-2013



GT ACADEMY
2008-2013

Este lugar es la línea de salida, donde comienza el difícil camino hacia la realización de los sueños.












ACADEMY
nismo
NISSAN
PS3
PlayStation 3


PIRELLI
NISSAN

Más allá de Apex

# Contenido


002 GT Academy 2008-2013

017 Capítulo 1: Ingeniería automotriz
- 018 Prefacio
- 020 Parte 1: Fuerza, energía y vibración
- 036 Parte 2: Rendimiento del vehículo
- 050 Parte 3: El motor eficaz
- 066 Parte 4: Aerodinámica
- 078 Parte 5: Mecánica de fluidos computacional
- 088 Índice de palabras claves

089 Capítulo 2: Revisión: Mecanismo
- 090 Presentación: Especificaciones básicas
- 094 Motor: El corazón del automóvil
- 104 Tren de transmisión: Convertir potencia en velocidad
- 108 Carrocería: El bastidor que todo lo soporta
- 110 Frenos: Intercambiadores térmicos que reducen la velocidad
- 114 Suspensión: Amortiguadores para controlar el movimiento de la carrocería
- 120 Neumáticos: El vínculo entre el auto y la pista
- 122 Ruedas: Llantas para carretera de aluminio
- 124 Aerodinámica: El efecto del aire sobre la carrocería
- 126 Índice de palabras claves

127 Capítulo 3: Revisión: Tuning y modificación
- 128 Motor: Mejorar el rendimiento del motor
- 140 Tren de potencia: Modificar el tren de potencia
- 146 Carrocería: Dar forma a la carrocería
- 148 Frenos: Mejorar la potencia de frenado
- 150 Suspensión: Mejorar la suspensión
- 152 Neumáticos: Actualizar a neumáticos de alto rendimiento
- 154 Piezas aerodinámicas: Mejorar la aerodinámica
- 156 Características: Cambiar la configuración según las características del auto
- 158 Configuración: Configuración básica pieza por pieza
- 166 Situaciones: Configuración para situaciones específicas
- 172 / 194 Índice de palabras claves

173 Capítulo 4: Referencia sobre circuitos

195 Capítulo 5: Hot Cars × 30



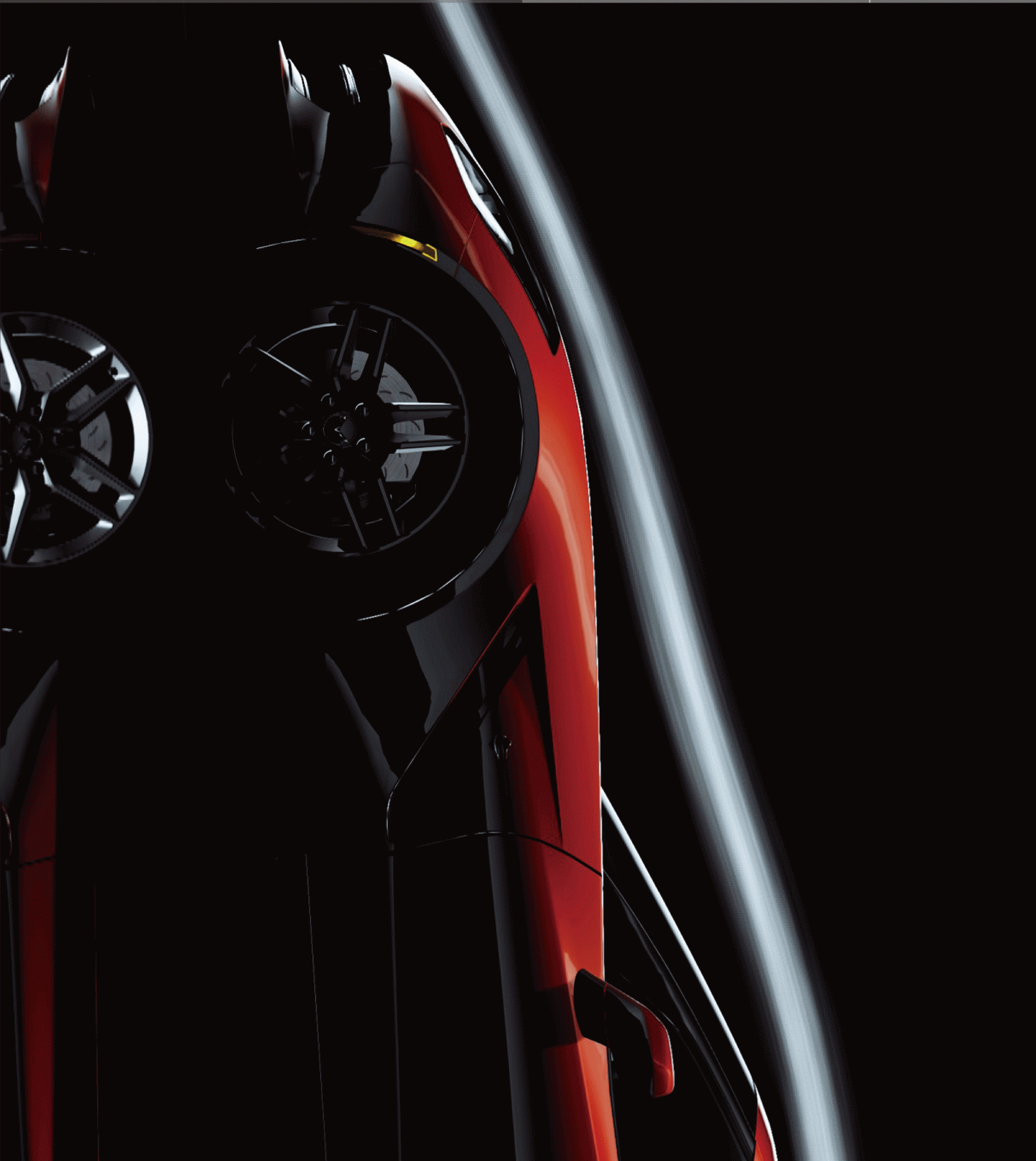
La revista de Gran Turismo
Más allá de Apex



# Ingeniería automotriz

# 1

La revista de Gran Turismo
Más allá de Apex



Existen muchas publicaciones sobre tecnología automovilística, que van desde manuales profesionales hasta revistas de autos para el público en general. Sin embargo, existe una gran diferencia entre los ingenieros automotrices profesionales y el público en general cuando se trata de comprender los aspectos complejos de los autos y la manera en que funcionan.

En esta publicación, apuntamos a reducir esta brecha de conocimiento compartiendo los conocimientos básicos que avalan el trabajo de los ingenieros automotrices. A su vez, compartiremos algunas historias que incluso las personas con conocimientos sobre ingeniería profesional deberían disfrutar. Se espera que puedas tomarte el tiempo necesario para leer estas secciones, tener una mejor comprensión de la ingeniería automotriz al finalizar y así apreciar más el mundo de los autos de alto rendimiento.

En el capítulo uno se describirán conceptos básicos sobre mecánica y se introducirán los conceptos de fuerza, momento (en adelante, "par motor") y energía, a lo que seguirá una discusión sobre la teoría de la vibración. Fuerza, par motor y energía son conceptos fundamentales de ingeniería, y la teoría de la vibración, que se explica en el capítulo dos, es la base de la cinética y la modificación de la suspensión de los vehículos.

El capítulo dos abarca la cinética de los vehículos y la modificación del sistema de suspensión. Se espera que este capítulo te muestre la manera en que los profesionales comprenden el concepto del movimiento de la suspensión y la manera en que este afecta al vehículo. En particular, aprenderás los conceptos básicos de las pruebas de dirección de vehículos y la manera en que la suspensión se puede analizar con una plataforma de prueba de siete postas.

# Pró

logo

En el capítulo tres se introducirán los conceptos básicos de la mecánica estadística y la termodinámica que se aplican en la fabricación de un motor de auto. ¿Qué clase de motor puede alcanzar la eficiencia teórica? ¿Por qué se produce en un motor real la pérdida de energía que impide la eficiencia teórica? Veremos las razones naturales por las que se produce la pérdida de energía debido a fenómenos físicos.

En el capítulo cuatro se explicará la aerodinámica. El teorema de Bernoulli, en el que se muestra la relación entre presión y velocidad, a menudo se emplea para describir la carga aerodinámica de un auto de carreras y la sustentación de un avión. No es muy conocido fuera del mundo de la mecánica de fluidos, pero el teorema de Bernoulli es básicamente un punto de acceso al complicado terreno de la aerodinámica. Avanzaremos aquí un paso más y veremos el concepto de la aerodinámica teórica.

En el capítulo cinco se explicará la mecánica de fluidos computacional (en adelante, "CFD"). La CFD es una parte indispensable del desarrollo de los automóviles y es un término familiar entre los fanáticos del automovilismo, ya que es una de las herramientas más importantes en el desarrollo de autos de carreras. Como el conocimiento práctico de la manera en que algo se fabrica al aplicar la CFD se limita a solo algunos expertos, te brindaremos un breve resumen de los conceptos de la teoría de la CFD.

Las teorías de ingeniería que se presentan aquí incluyen conocimientos básicos para ingenieros automotrices, pero resultan relativamente difíciles para el observador inexperto. Absorber toda esta información de principio a fin puede implicar un desafío. Si esto sucede, puedes simplemente buscar las partes que te parezcan interesantes. Esperamos que esto brinde al menos un vistazo del vasto mundo que permanece oculto del conocimiento público y se reserva a los pocos y exclusivos que se conocen como ingenieros profesionales.

# 1-1 Los conceptos de fuerza y par motor

▶ Vamos a aprender las definiciones y las diferencias entre los dos

Varias fuerzas, incluido el par motor, trabajan cuando un auto se mueve. Comprenderlas es el primer paso para comprender un auto.

## Definición de "fuerza"

Los neumáticos, la suspensión y el motor generan fuerza cuando un vehículo se encuentra en movimiento. Estas fuerzas se generan de diferentes maneras y puede parecer que producen varios tipos de potencia. Sin embargo, todas estas fuerzas se pueden calcular simplemente utilizando la misma fórmula, conocida como "ecuación de movimiento": F = ma (Fuerza = Masa x Aceleración). No existen diferencias esenciales.

La ecuación de movimiento muestra que la fuerza deriva de la aceleración de una masa, lo que significa que la fuerza es un efecto que cambia la velocidad y dirección de movimiento de un objeto. De manera inversa, si la velocidad o dirección de una masa cambian, siempre hay alguna forma de fuerza involucrada.

Por ejemplo, la fuerza de fricción que se genera entre la superficie de la carretera y los neumáticos cambia la velocidad y dirección de movimiento de un auto (o una masa), y la fuerza de amortiguación de un amortiguador tiene el efecto de reducir la velocidad de vibración del auto y de los neumáticos.

**Diagrama 1-1-1** Aunque las numerosas formas de fuerza que actúan en un auto parecen diferentes, son en esencia las mismas desde el punto de vista de la física

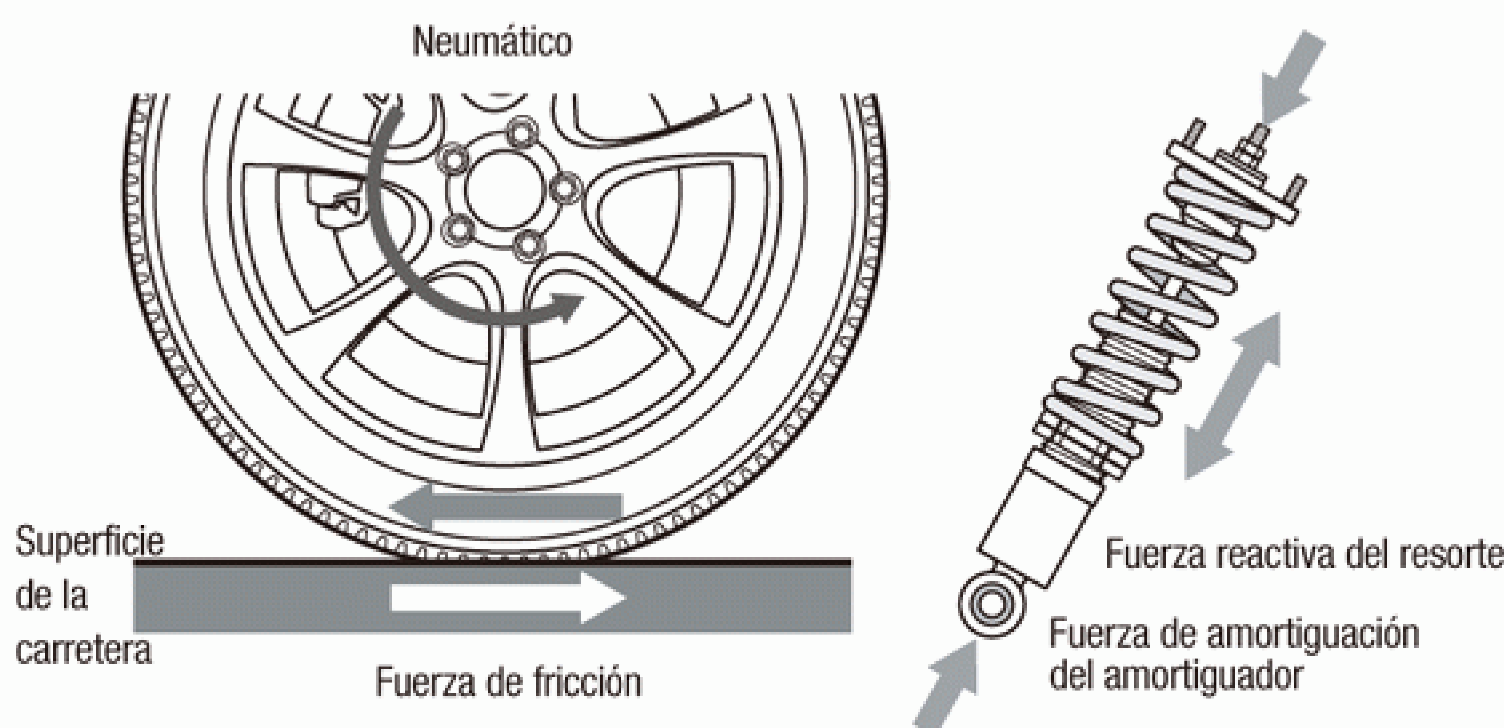
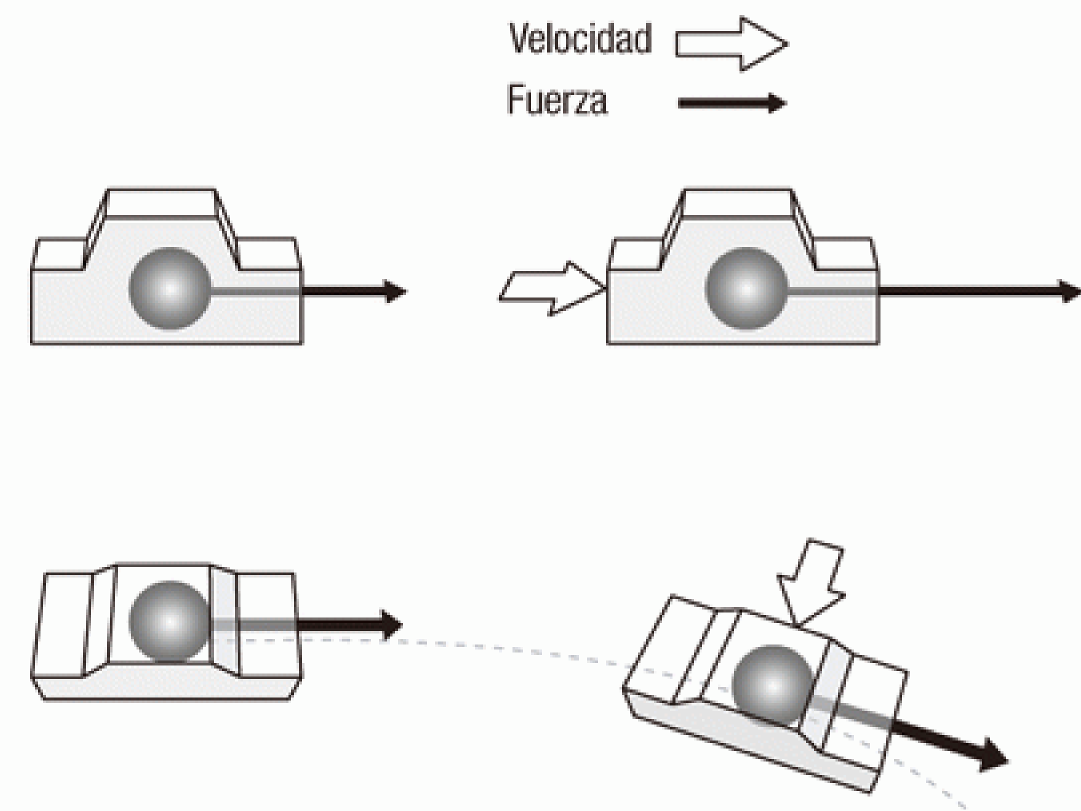



**Diagrama 1-1-2** La fuerza es un efecto que cambia la velocidad y dirección de movimiento de un objeto.




La adición de fuerza cambia la velocidad y dirección de un objeto

> Las diferentes fuerzas que un auto produce se pueden calcular a través de la ecuación:
> **F = ma (Fuerza = Masa x Aceleración)**
> La fuerza es un fenómeno que afecta la velocidad de una masa.

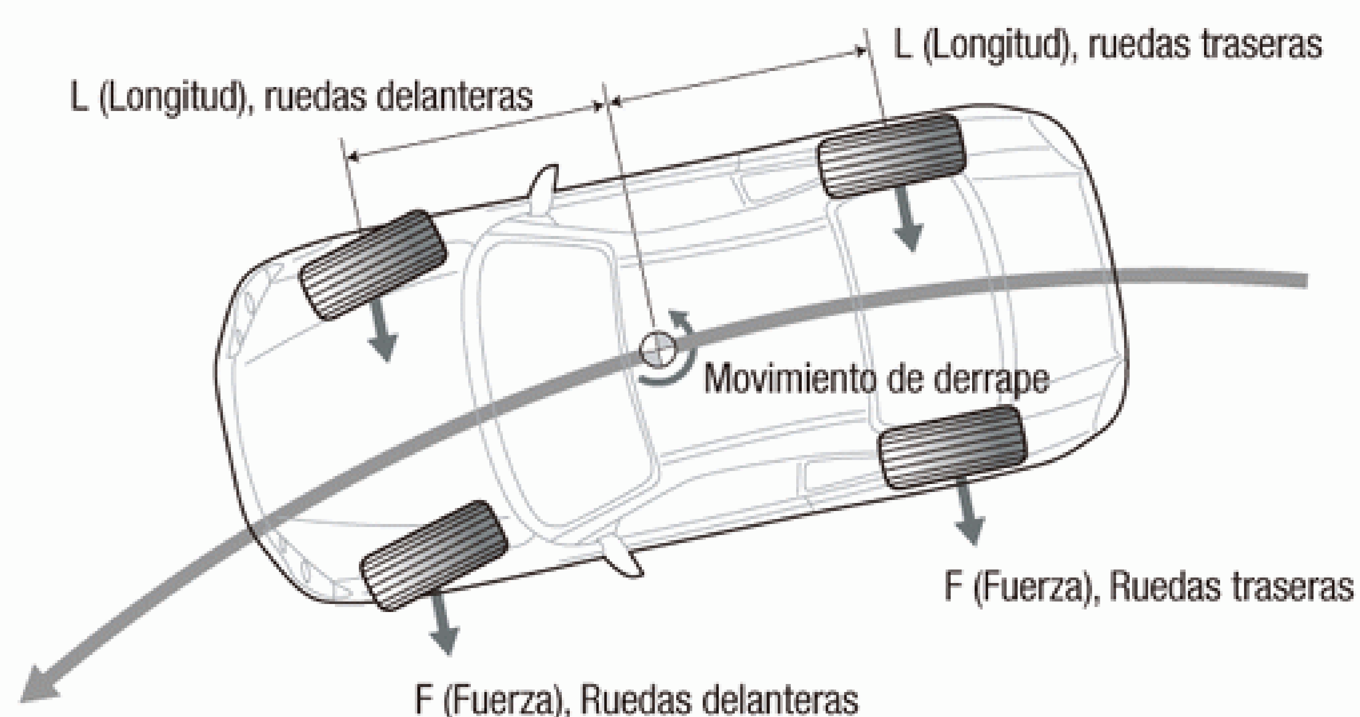
## Definición de "par motor"

Cuando se gira el volante de dirección, un auto cambia de dirección porque el neumático genera una fuerza en dirección perpendicular a la línea de desplazamiento. El movimiento giratorio de un auto ocasionado por tal fuerza se denomina "derrape". De manera similar, el efecto por el que una fuerza genera el movimiento giratorio de un objeto se denomina "par motor". La magnitud de par motor depende de la magnitud de fuerza aplicada multiplicada por la distancia del eje de rotación. En términos matemáticos, esto se puede representar como M = L x F (par motor = longitud del eje de rotación x fuerza).

Consideremos el par motor real que actúa al virar un auto. Si el eje de rotación se encuentra en el centro de gravedad del vehículo que vira, la magnitud del par motor que las ruedas delanteras generan se ve determinada por [la distancia de las ruedas delanteras al centro de gravedad] x [la fuerza lateral que las ruedas delanteras generan]. Durante el viraje, por supuesto, las ruedas traseras generan par motor que se multiplica por [la distancia de las ruedas traseras al centro de gravedad] x [la fuerza lateral que las ruedas traseras generan]. Esto genera resistencia en la dirección opuesta a la de las ruedas delanteras y afecta así el par motor de estas.

Por ejemplo, durante situaciones de viraje reales, en las que se gira el volante de dirección, el par motor producido por las ruedas delanteras supera el de las traseras, con lo que comienza el viraje del vehículo. El par motor que generan las ruedas delanteras y traseras es igual cerca del punto medio de la curva. Una vez superado ese punto, girar nuevamente el volante de dirección hace que el par motor producido por las ruedas traseras supere el de las delanteras, lo que detendrá el giro.

**Diagrama 1-1-3** **Relación entre el par motor aplicado al vehículo por las ruedas delanteras y traseras y el movimiento giratorio. Un auto comienza a virar cuando el par motor de las ruedas delanteras es superior al de las traseras.**



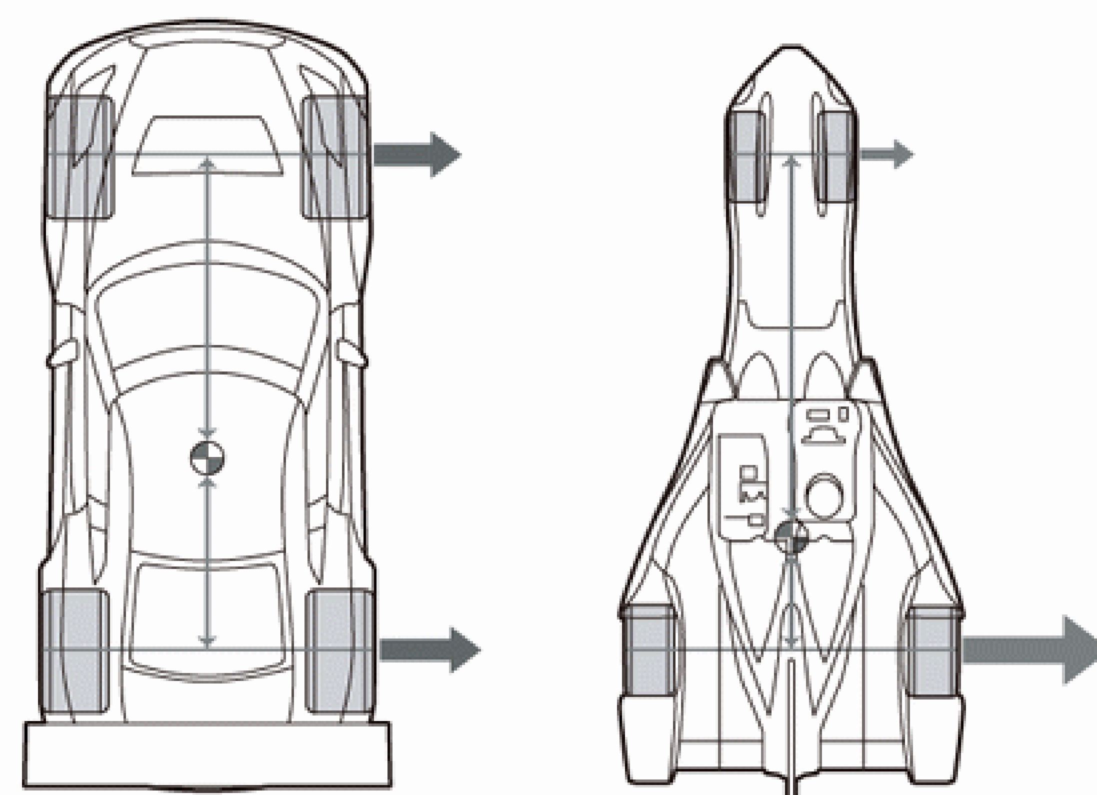

L Ruedas delanteras x F Ruedas delanteras > L Ruedas traseras x F Ruedas traseras: El ángulo de derrape del vehículo aumenta (viraje hacia adentro)

L Ruedas delanteras x F Ruedas delanteras < L Ruedas traseras x F Ruedas traseras: El ángulo de derrape del vehículo disminuye (viraje hacia afuera)

El par motor es la fuerza que genera el movimiento giratorio de un objeto.

**M = L x F (par motor = longitud del eje de rotación x fuerza).**

**Diagrama 1-1-4**



**CONSEJOS** En el Diagrama 1-1-4 se muestra la fuerza que generan las ruedas delanteras y traseras de un Nissan GT-R NISMO GT3 (izquierda) y un Nissan Delta Wing (derecha). Supongamos que el eje de rotación del vehículo se encuentra en el centro de gravedad. A continuación, se debe observar que la distancia a las ruedas delanteras y traseras desde cada eje de rotación (centro de gravedad) es diferente. Ahora podemos observar que, para equilibrar el par motor generado en las ruedas delanteras y traseras, la fuerza que deben generar las ruedas delanteras y traseras es diferente para cada vehículo. El centro de gravedad del Delta Wing se encuentra en el extremo trasero, con lo que la fuerza de agarre necesaria para los neumáticos delanteros y traseros es totalmente diferente. En realidad, en la parte delantera del Delta Wing se utiliza un neumático especial que mide solo 10 cm de ancho. En comparación, el centro de gravedad del GT-R NISMO GT3 se encuentra cerca del centro de la carrocería, por lo que se necesita una fuerza casi equivalente en las ruedas delanteras y traseras.

# 1 El concepto de energía

## 2 ▶ Conservación de la energía

### Ley de conservación de energía

Las reacciones físicas de un auto incluyen variaciones cinéticas, térmicas, eléctricas, magnéticas y químicas. Por ejemplo, cuando el combustible hace combustión en el cilindro de un motor, la temperatura del cilindro se eleva y hace que el pistón se mueva, como resultado de una reacción química, térmica y cinética. Aparte de la fuerza, estos diferentes tipos de fenómenos físicos producen algo en común: energía. La energía puede pasar de una forma a otra aun entre fenómenos físicos diferentes; a su vez, la cantidad total de energía no cambia antes ni después de la conversión y se mantiene constante. Esto se denomina "Ley de la conservación de la energía".

**Diagrama 1-2-1 El concepto de energía**

Fenómenos físicos que se producen en un auto

- Reacción cinética
- Reacción térmica
- Reacción eléctrica
- Reacción magnética
- Reacción química

→ La energía es un producto físico común

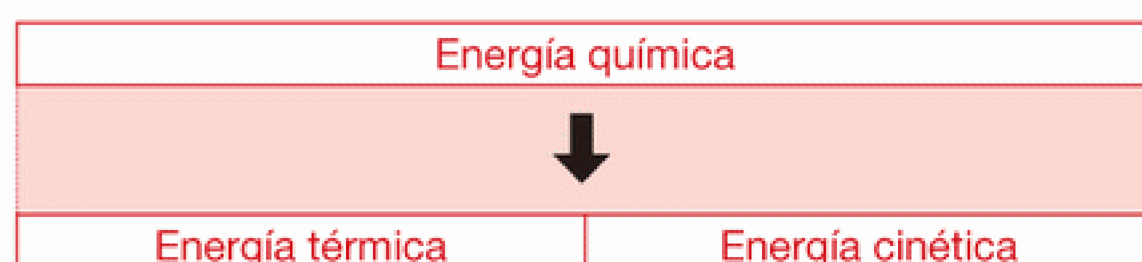
El frenado es el acto por el que la energía cinética se convierte en energía térmica



## Conservación de los cilindros del motor

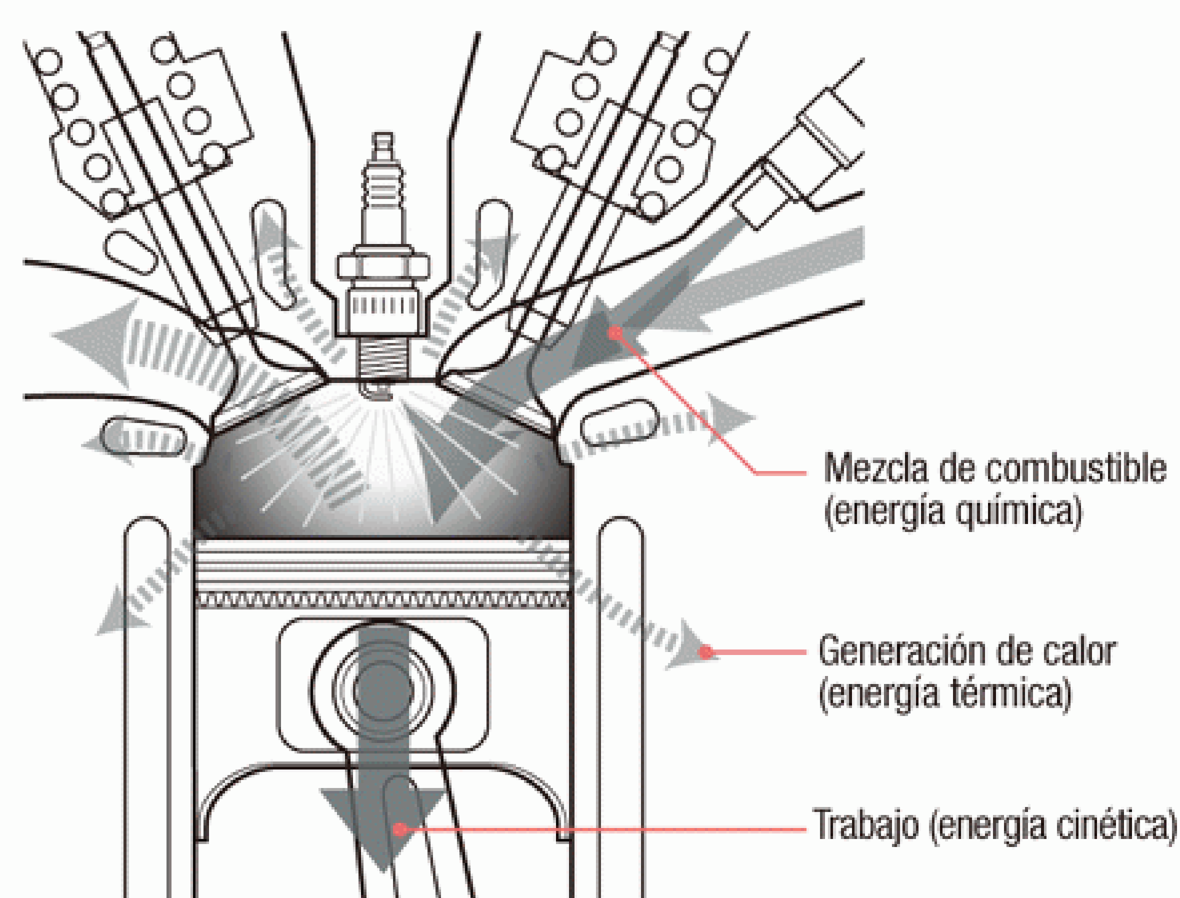
Si observamos la energía que genera el fenómeno físico de un cilindro en movimiento en un motor, veremos que la energía química del combustible se convierte en energía térmica y cinética. En otras palabras, el motor de combustible es un dispositivo que convierte energía química en cinética, una manifestación de la energía conveniente para las personas. En ese momento, la Ley de la conservación de la energía garantiza que la magnitud de energía química que se convierte es igual a la suma de las magnitudes que pasan a ser energía térmica y cinética. El grado de eficiencia con que un motor convierte la energía química en energía cinética útil es lo que define la aptitud de este.

**Diagrama 1-2-2** El concepto de conversión de energía en el cilindro de un motor




La conversión de energía no cambia la cantidad total de energía.
Esto se denomina "Ley de la conservación de la energía".

**Diagrama 1-2-3**






# 1-3 El mecanismo de la vibración

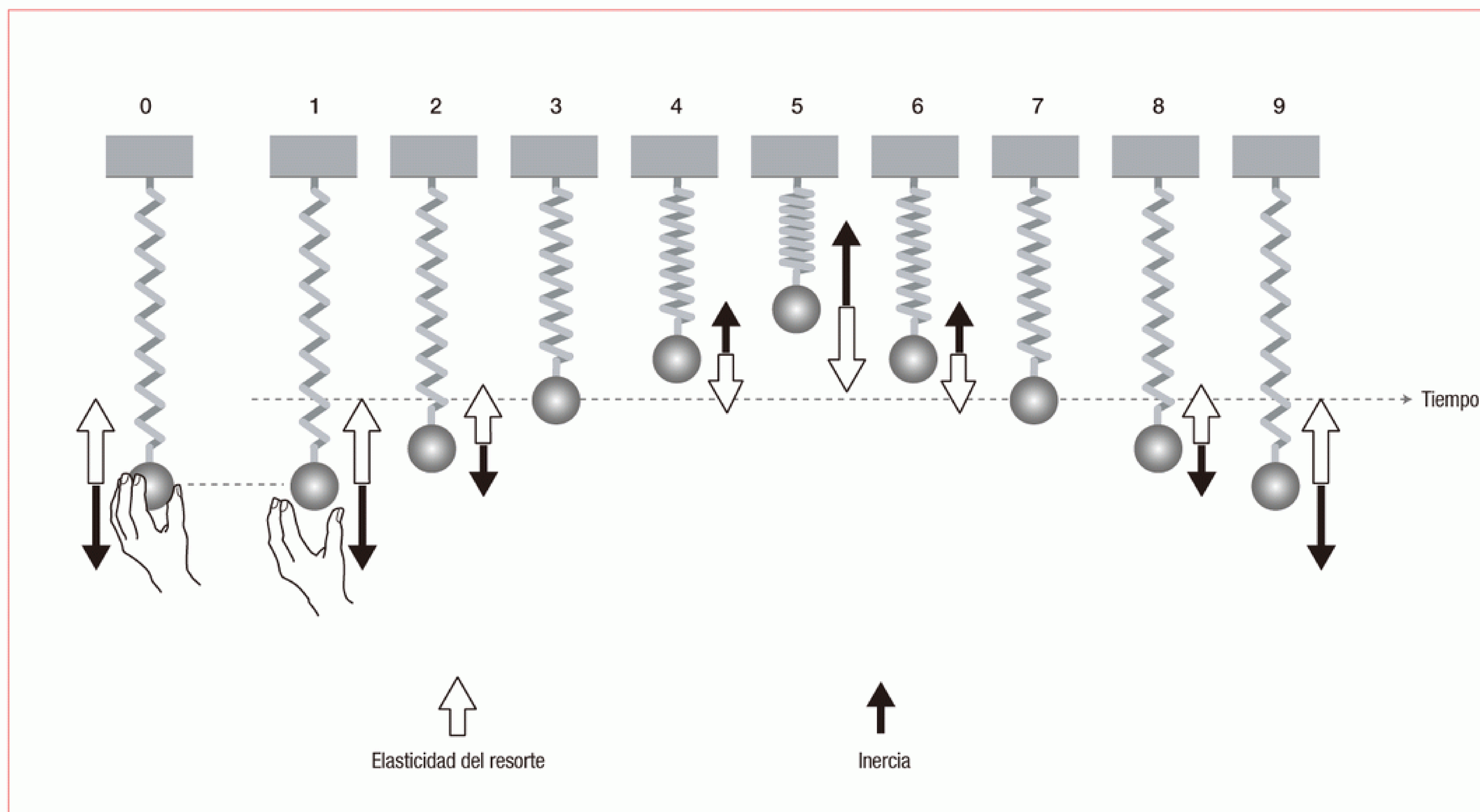
▶ La vibración se relaciona con la masa y la elasticidad de un objeto

La vibración tiene lugar, entre otros componentes, en todos los motores, sistemas de suspensión y carrocerías de autos. En la parte 2, explicaremos los pormenores de cómo el movimiento de un vehículo también forma parte del fenómeno de la vibración. Entonces, ¿cuál es el mecanismo de la vibración? Antes de una discusión sobre el movimiento de un vehículo, aclaremos primero el concepto de la vibración.

## La vibración vista desde punto de vista de la fuerza

Una manera sencilla de conceptualizar esto es imaginar un resorte del que cuelga un peso. Este es un sistema de vibración simple (Diagrama 1-3-1). Cuando se tira del peso con la mano, el resorte se estira y se genera elasticidad contra esa fuerza (1-2). Cuando se suelta el peso, el resorte recupera su longitud original y tira del peso hacia atrás por medio de su elasticidad (3). El resorte recupera su longitud original, e incluso después de que la fuerza elástica llega a cero, el peso tiende a seguir moviéndose debido a la inercia (4). Cuando el resorte alcanza la máxima compresión, el movimiento del peso disminuye hasta el punto en que se detiene momentáneamente (5), pero su fuerza hace que el resorte se mueva de nuevo (6). El resorte comprimido se estira y responde a su elasticidad, mientras tiende a recuperar su forma original (7). Cuando la recupera, la inercia del peso hace que se mueva de nuevo (8). El ciclo de las posiciones 1 a 8 se repite y pierde intensidad de manera uniforme a medida que el resorte recupera su posición original. Esto es la vibración vista desde el aspecto de la fuerza. Durante el fenómeno de la vibración, la inercia y la elasticidad de un objeto se vuelven causa y efecto.

Diagrama 1-3-1 Cuando la perspectiva se traslada al aspecto de la fuerza, la fuerza inercial del peso siempre se adecua a la elasticidad del resorte. Ten en cuenta que la longitud de las flechas en el sentido vertical del resorte es igual en cada proceso



## La vibración vista desde punto de vista de la fuerza

La vibración recién descrita se puede observar a través de la Ley de la conservación de la energía. Si observamos la vibración desde el aspecto de la energía, se puede decir que es un intercambio de energía cinética del peso con la expansión y contracción de la energía elástica del resorte. La energía elástica del resorte alcanza su valor máximo cuando el desplazamiento del resorte es el máximo (el resorte se encuentra totalmente estirado o contraído), como se muestra en los diagramas 1, 5 y 9.

La velocidad máxima, y de esta manera la energía cinética, del peso se encuentra, por cierto, en los puntos en que el resorte recupera momentáneamente su longitud original.

**Diagrama 1-3-2** Considerada desde el punto de vista de la energía, la vibración es el intercambio de la energía cinética del peso y la energía elástica del resorte.

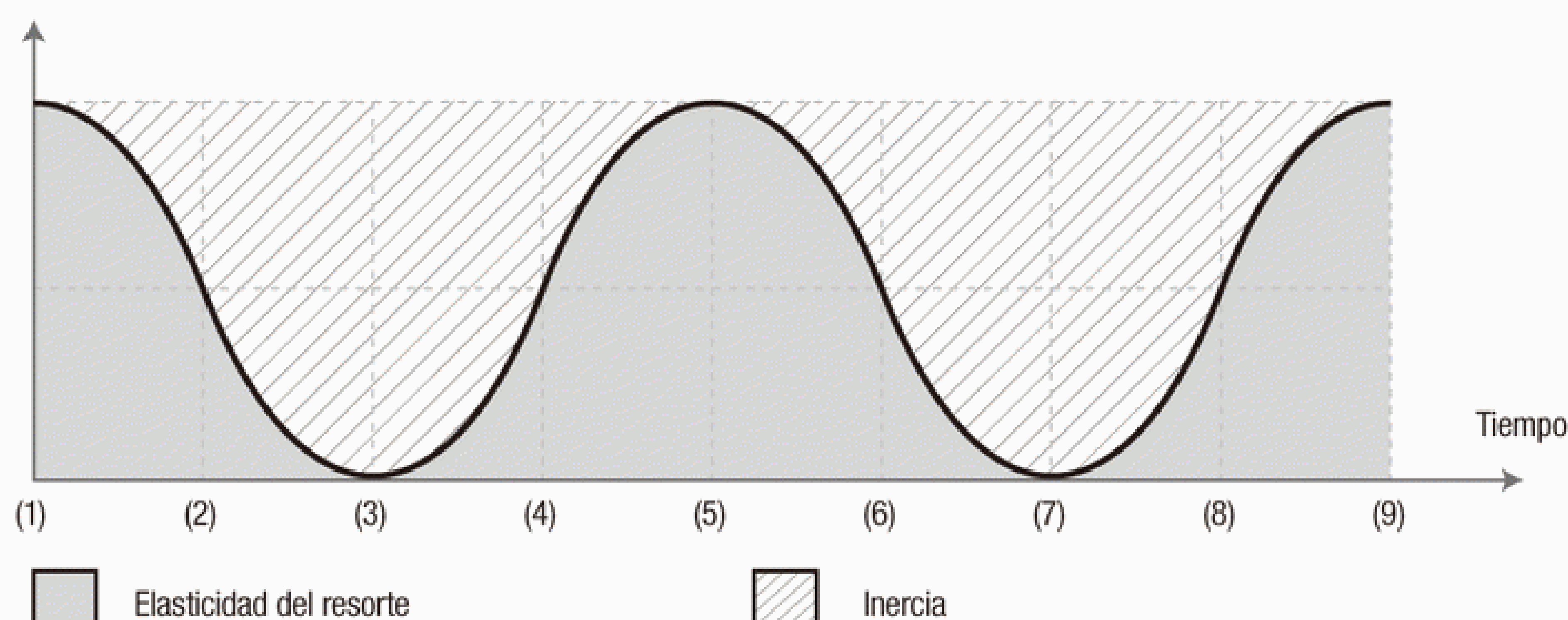
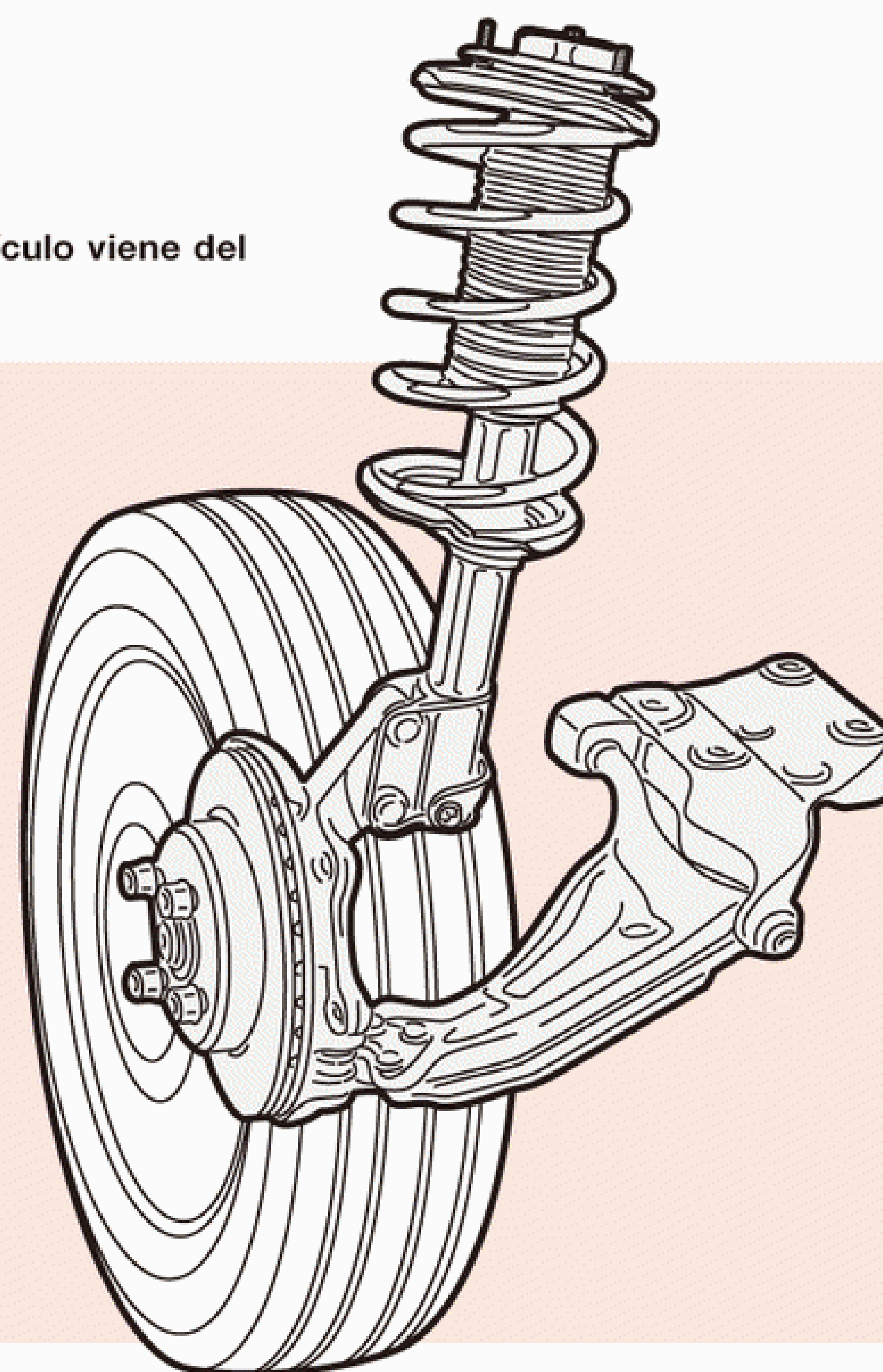



**Diagrama 1-3-3** La vibración más evidente con respecto a la carrocería de un vehículo viene del estímulo que la superficie de la carretera transmite a la suspensión.





1
4

# Fenómeno de resonancia

▶ La resonancia es un estado de transición hacia una ausencia de resistencia contra excitaciones externas

El fenómeno conocido como "resonancia" complica la consideración de elementos como los sistemas de suspensión y la vibración del motor. La resonancia se debe evitar tanto como sea posible, aun cuando se genera por necesidad. A tales fines, intentemos comprender la resonancia con exactitud.

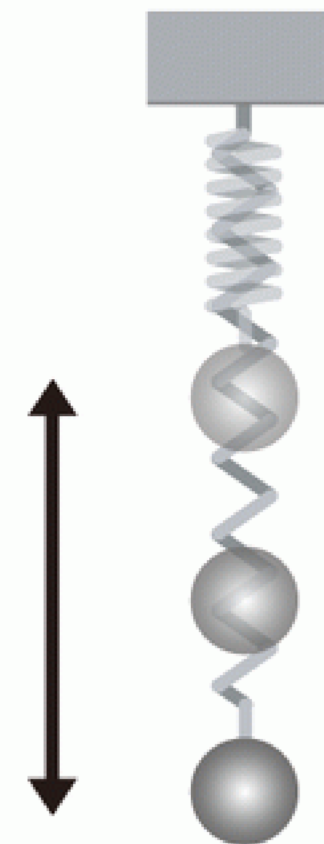


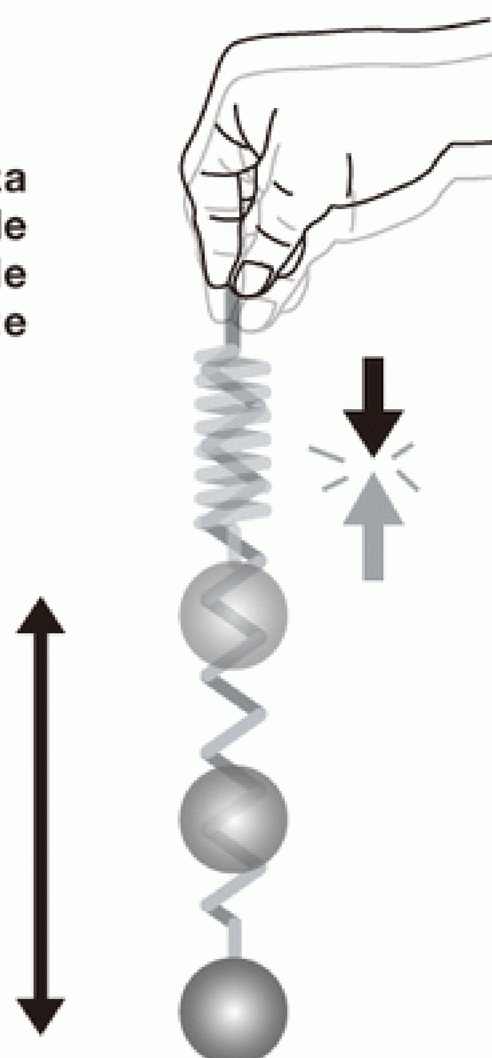
Diagrama 1-4-1 **Cuando se permite que el sistema vibre libremente, lo hace a su frecuencia natural y no vibra a ninguna otra frecuencia.**

## Vibración libre y frecuencia natural

Consideremos un sistema de vibración que consiste en un resorte y un peso. Después de estirar este sistema una vez, dejemos que vibre libremente. Esto se denomina "vibración libre". Rápidamente, el peso y el resorte vibran con cierta frecuencia uniforme. El resultado será el mismo, sin importar la fuerza o la suavidad con que se tire del sistema. El número de vibraciones por segundo es natural para la elasticidad del resorte y la masa del peso; a esto se denomina "frecuencia natural". Esta frecuencia natural es una frecuencia que se basa en la vibración del sistema en sí y cuando este vibre con su frecuencia natural, la elasticidad del resorte y la inercia del peso siempre serán iguales, lo que ocasionará intercambios de energía naturales reiterados.

Diagrama 1-4-2

**Aun cuando se hace vibrar por la fuerza un sistema a una frecuencia que difiere de su frecuencia natural, el sistema tiende a vibrar a su frecuencia natural. Este movimiento genera resistencia**

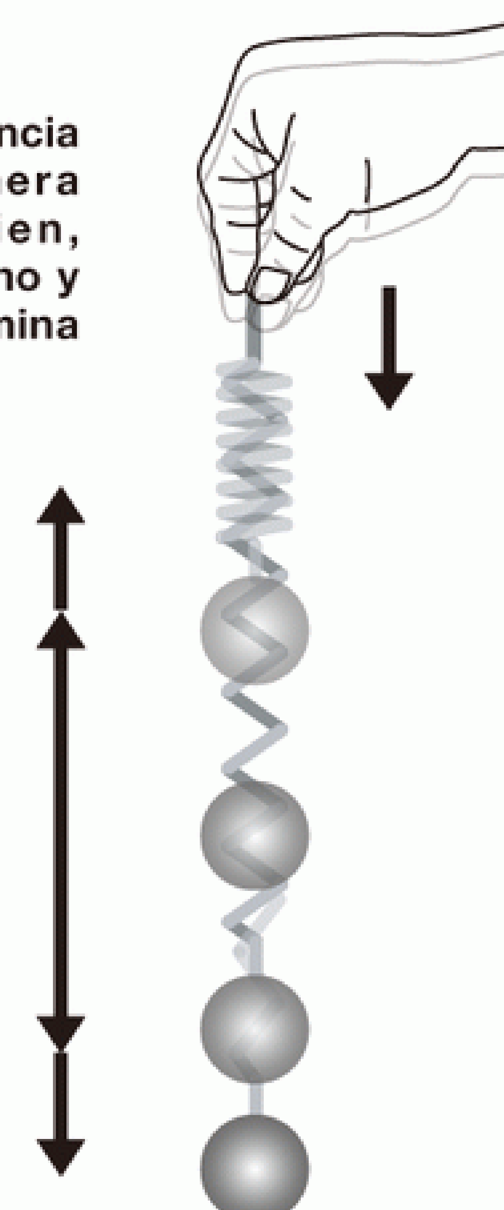


## Vibración forzada y resonancia

Ahora estiremos y contraigamos por la fuerza el resorte y el peso a mano. Esto se denomina "vibración forzada". Hacer esto de modo que no se permita la presencia de frecuencia natural debería hacer que se sienta resistencia en la mano. Cuando un sistema de vibración vibra a su frecuencia natural, cualquier otra frecuencia se considera innatural para el sistema de vibración. Sin importar si se aplica vibración de manera externa o no, un sistema de vibración tenderá a vibrar a su frecuencia natural, con lo que toda otra vibración generará una sensación de resistencia.

Diagrama 1-4-3

**Cuando se añade vibración a la frecuencia natural de un sistema, no se genera resistencia. El sistema, más bien, absorbe la energía cinética de la mano y aumenta su amplitud. Esto se denomina "resonancia"**



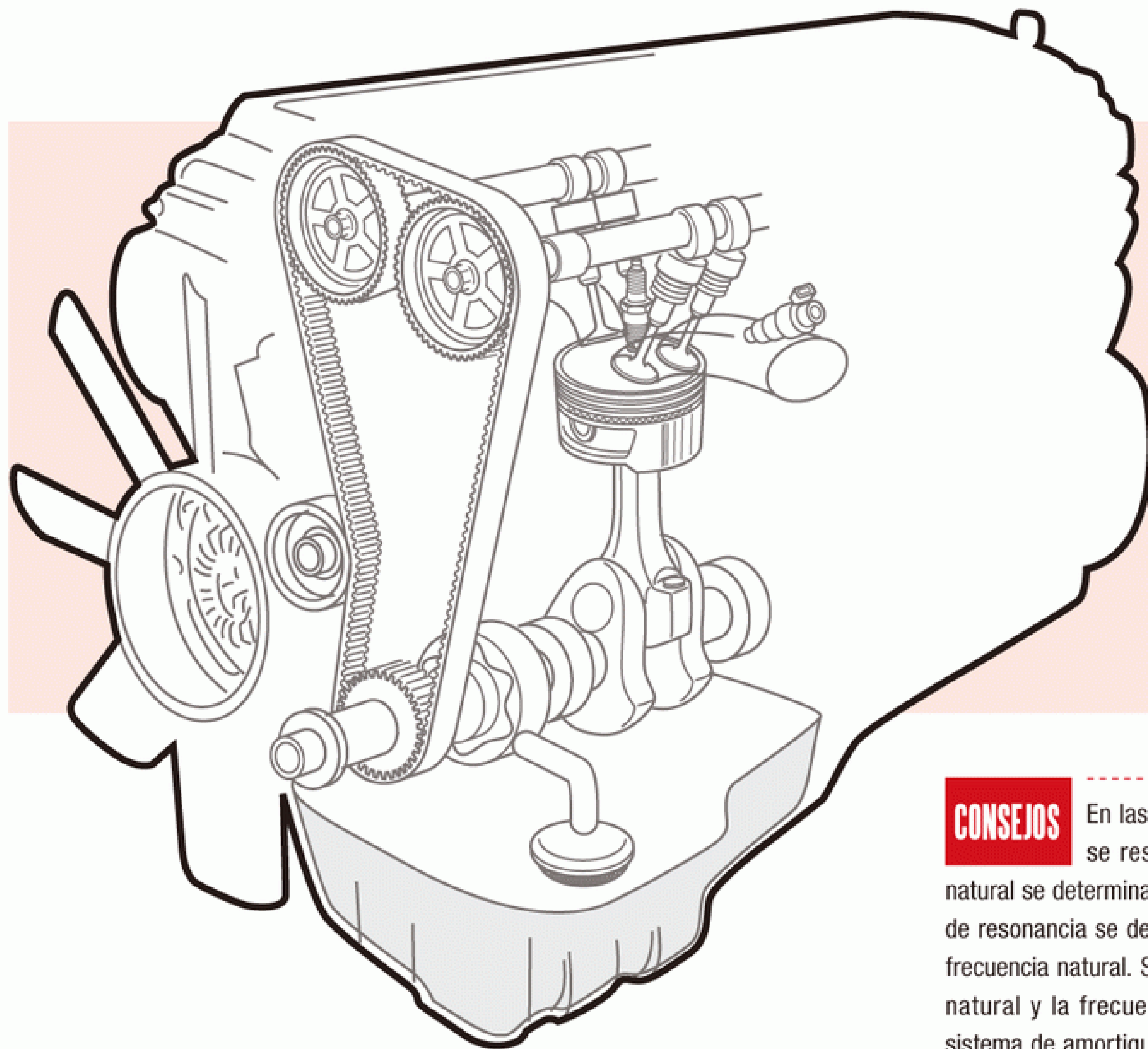
## Vibración forzada y resonancia (continuación)

¿Qué sucede si se estira y se contrae el sistema siguiendo su frecuencia natural? Ahora no se sentirá resistencia debido a que la vibración se encuentra en su frecuencia natural. Se debería observar que la amplitud de vibración aumenta para adecuarse a la vibración añadida. Esto se debe a que el sistema absorbe la energía de la excitación externa en lugar de oponerle resistencia. La vibración del sistema continuará aumentando mientras se sume la excitación externa a la vibración natural.

Como se explicó previamente, el fenómeno por el que la vibración aumenta debido a la vibración externa que se añade a la vibración natural del sistema se denomina "resonancia" y la frecuencia en el punto en cuestión se denomina "frecuencia de resonancia".

Por ejemplo, la resonancia en la suspensión tiene efectos perjudiciales para la comodidad de manejo y la resistencia del suelo. A su vez, si el motor genera resonancia se producirá daños a sí mismo. Por lo tanto, es necesario evitar la resonancia tanto como sea posible. Una manera de evitar daños debidos a la resonancia es utilizar un sistema de amortiguación. El amortiguador absorbe la energía de la vibración y la convierte en energía térmica que luego se dispersa en forma externa. De esta manera, un sistema de amortiguación efectivo puede evitar daños en los mecanismos.

Diagrama 1-4-4 **El motor se puede considerar como un sistema de vibración en el que las vibraciones se generan por combustión constante. Si un motor resuena, el bloque o la culata del motor pueden sufrir daños graves**



**CONSEJOS** En las descripciones vistas hasta ahora, frecuencia natural y frecuencia se resonancia parecen lo mismo, pero esto no es así. La frecuencia natural se determina a través de la masa y la elasticidad del resorte, pero la frecuencia de resonancia se determina al agregar el elemento de la fuerza de amortiguación a la frecuencia natural. Si no existiera fuerza de amortiguación en el sistema, la frecuencia natural y la frecuencia de resonancia coincidirían, pero ante la existencia de un sistema de amortiguación la frecuencia de resonancia se reduce y genera una falta de correspondencia con la frecuencia natural del sistema. Ten en cuenta que la frecuencia de resonancia (frecuencia natural) que no está sujeta a un sistema de amortiguación a veces se denomina "frecuencia natural sin amortiguación", y la frecuencia de resonancia con la amortiguación a veces se denomina "frecuencia natural con amortiguación".

# 1-5 Efecto de la fuerza de amortiguación

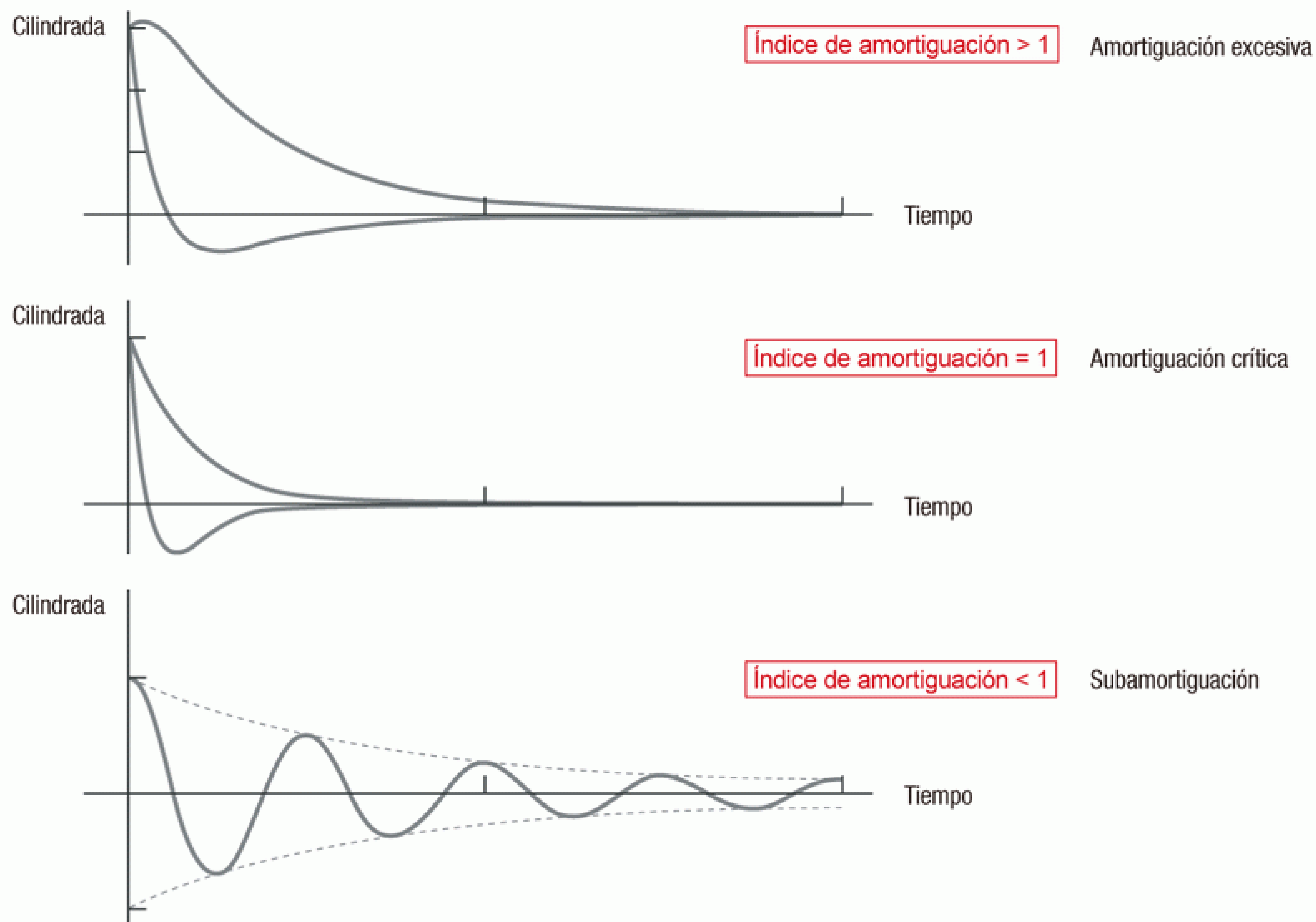
▶ El estado de vibración varía con la fuerza de amortiguación

## Vibración libre con un índice de amortiguación diferente

La vibración descrita hasta ahora es el resultado de la fuerza elástica del resorte y la fuerza de la masa, pero si insertamos un amortiguador en el sistema de vibración, esta se amortigua y el movimiento pronto se detiene. Durante el proceso, la resistencia de la fuerza de amortiguación afectará la amortiguación de la vibración. Aquí, la relación de amortiguación es un indicador de la resistencia de la fuerza de amortiguación del amortiguador contra el efecto de la fuerza de la masa y la fuerza elástica del resorte.

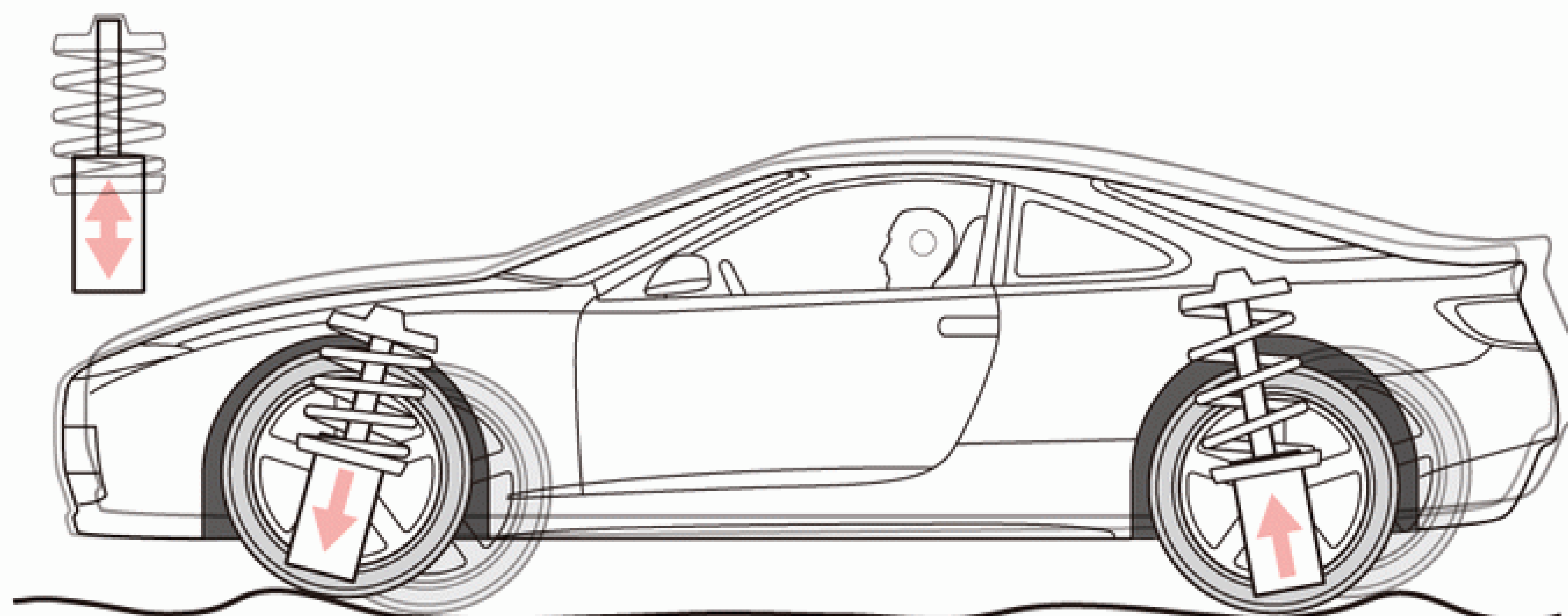
Si la relación de amortiguación es superior a 1, el movimiento del sistema de vibración alcanza un estado de ausencia de vibración debido a que la fuerza de amortiguación es superior a la del resorte y de la masa. Este estado se denomina “sobreamortiguación” (sobreatenuación). En el estado de sobreamortiguación, la amplitud disminuye con el tiempo y se produce un movimiento aperiódico asintótico respecto del valor 0. Si la relación de amortiguación es inferior a 1, debido a que se encuentra en un estado en el que

Diagrama 1-5-1 **Ejemplo de vibración del sistema de amortiguación**



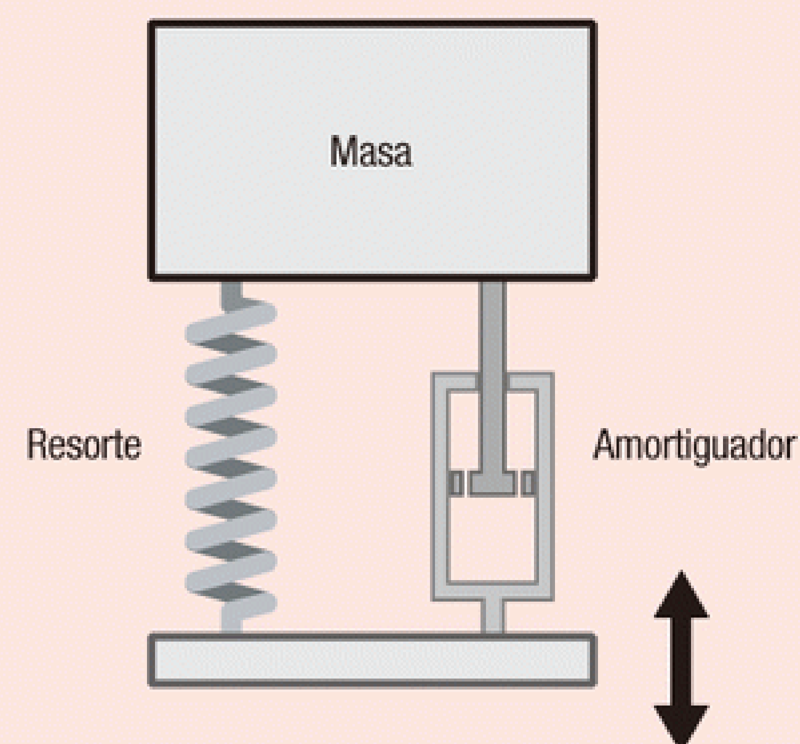
la fuerza del resorte y de la masa es elevada en comparación con la fuerza de amortiguación, la amplitud de la vibración disminuye con el tiempo y continúa prolongando el período de vibración. Este estado se denomina "subamortiguación" (falta de atenuación). Dicho sea de paso, cuando la relación equivale a 0 no existe fuerza de amortiguación y el estado es similar al del amortiguador sin funcionar, con lo que la vibración no se amortigua. A su vez, si la relación de amortiguación es 1, el estado es crítico respecto de si existirá o no vibración. Este estado se denomina "amortiguación crítica".

**Diagrama 1-5-2** **Amortiguador de suspensión del auto. El índice de amortiguación es un indicador importante cuando se modifica la suspensión. Como el índice de amortiguación mencionado, se dice que es de aproximadamente 0,1 a 0,3 para autos de pasajeros estándares, 0,5 para autos deportivos y aproximadamente 0,7 para autos de carreras (Nota: existen excepciones a estas cifras)**



**CONSEJOS** Para evitar que la vibración afecte la base que soporta la maquinaria que vibra y otras estructuras, y viceversa, los elementos como el caucho, los neumáticos, los resortes y los amortiguadores a menudo se utilizan como soporte. Es bastante común crear un modelo del sistema de vibración en el que se incluyen los elementos de soporte mencionados, como se muestra en el Diagrama 1-5-3, para ver la manera en que la vibración afecta la maquinaria y su base. Por ejemplo, la suspensión se puede modelar y representar junto con los resortes, los amortiguadores y la masa como una unidad para evaluar las características de la vibración. Esto se verá más en detalle en la Parte 2.

**Diagrama 1-5-3** **Modelo de vibración de base**



# 1 6 Diferencia de fase

▶ La diferencia de fase es la diferencia en el ritmo de la vibración

Cuando un vehículo recorre la ondulación de la superficie de una carretera, dicha ondulación se transmite a la carrocería del vehículo a través de la suspensión después de "reducirse". En tal caso, la amplitud de la carrocería será más suave que la ondulación de la carretera. Considerando que la ondulación de la carretera es una "entrada", es muy importante observar el grado de amplitud, o "respuesta", que se suprime de la carrocería. Sin embargo, aquí no termina la teoría de la vibración.

**Diagrama 1-6-1** **La ondulación de la superficie de una carretera real y la amplitud de la carrocería ocasionada a través de la suspensión. Concentrémonos en esta relación. La reducción de la amplitud de la carrocería es primordial; sin embargo, con respecto a la ondulación de la superficie de la carretera, la rapidez con que la carrocería responda es importante también**

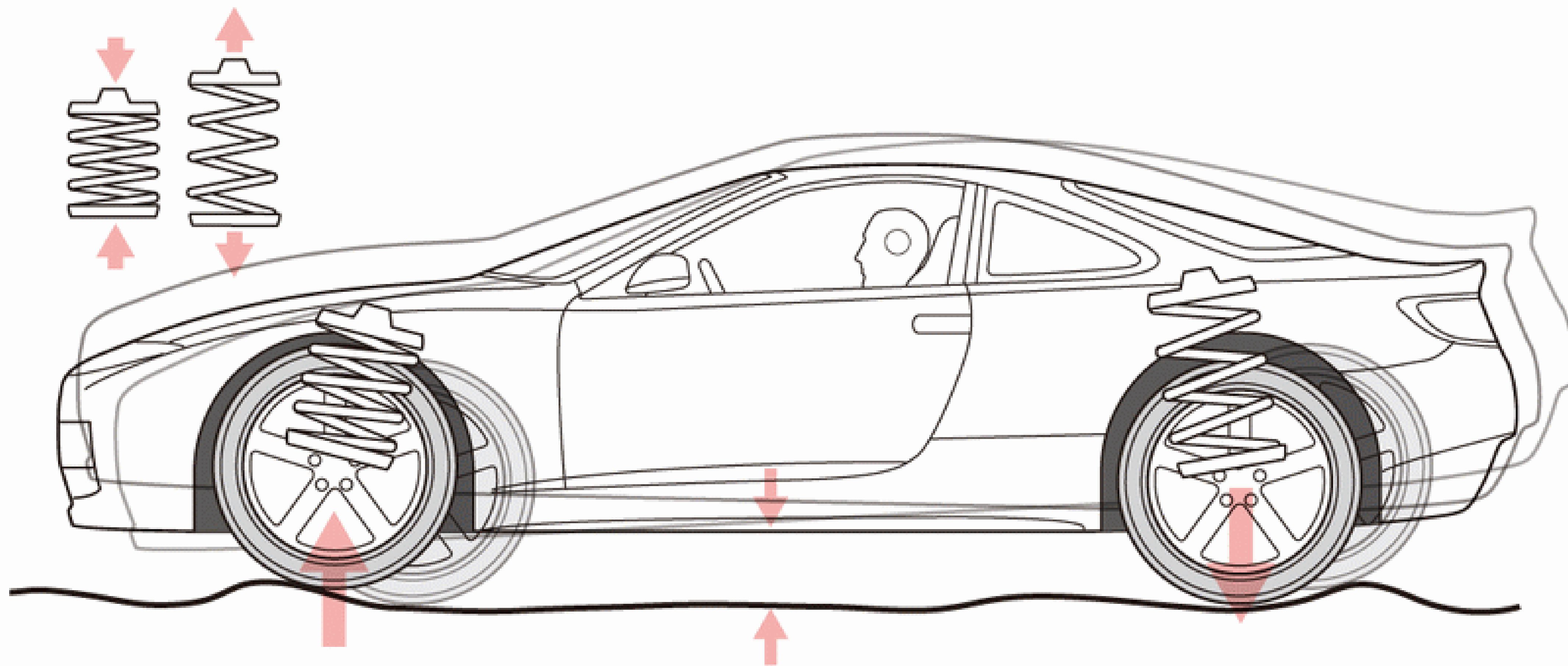
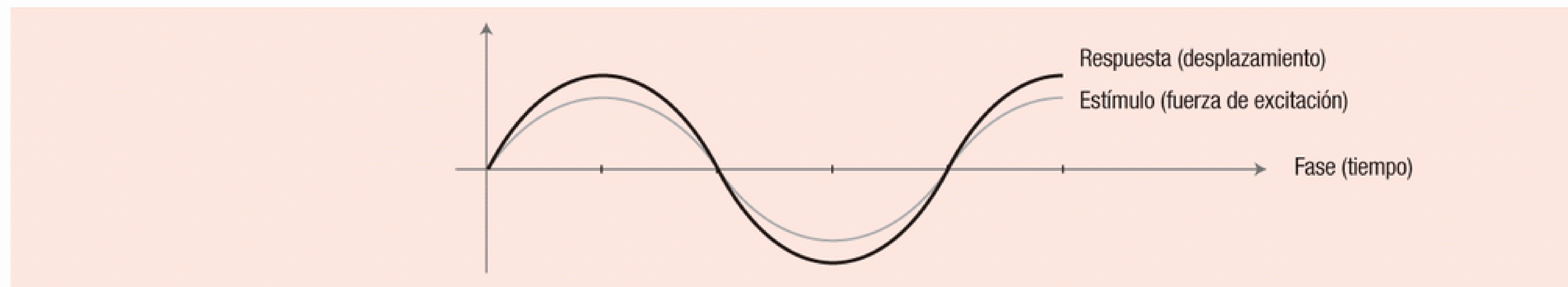


**Diagrama 1-6-2** **Fabricante de suspensiones alemán, plataforma de prueba de 7 postas de KW (debajo del suelo)**

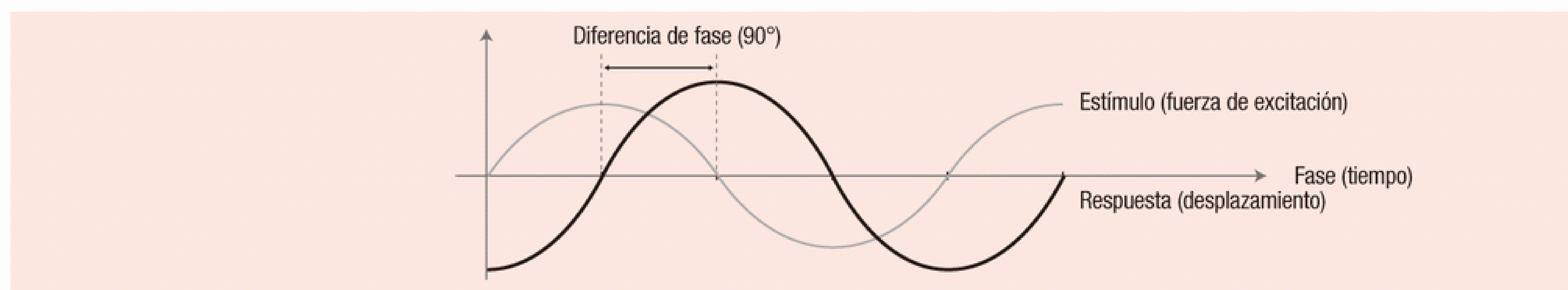


Diagrama 1-6-3

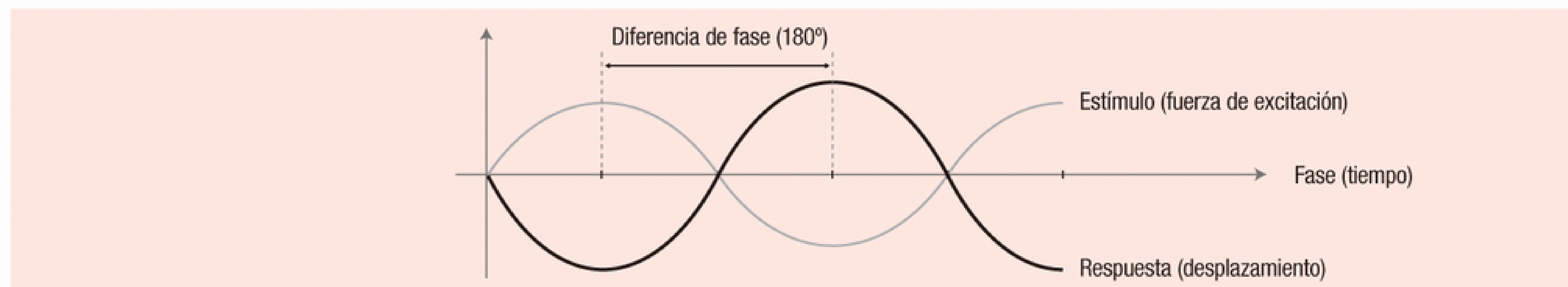
Si la frecuencia de vibración en el punto en el que se aplica vibración es considerablemente baja, las fases de la amplitud de entrada y respuesta coincidirán




La fase experimentaría un cambio de 90° con la vibración a su frecuencia natural




La diferencia de fase experimentaría un cambio de 180º si la frecuencia de vibración de excitación aumentara considerablemente




## Diferencia del ritmo de vibración

La "diferencia de fase" se utiliza para evaluar la velocidad con la que ciertos sistemas de vibración reaccionan a la entrada. Veamos esto nuevamente empleando un sistema de vibración de pesos y resortes.

Cuando la mano fuerza una excitación de frecuencia que genera una diferencia respecto de las del resorte y del peso (frecuencia de resonancia), ¿por qué la mano siente resistencia? Como se explicó previamente, el sistema de vibración genera resistencia porque cualquier frecuencia de vibración diferente de la frecuencia natural se considera innatural. De manera alternativa, se puede decir que "el ritmo de vibración de la mano es diferente del ritmo de vibración natural del sistema de vibración". Para ser más específicos, la diferencia de ritmo se debe a "la diferencia entre la dirección en la que se añade la vibración y la dirección de la inercia del peso". Esta diferencia de ritmo se denomina "diferencia de fase".

Observa el Diagrama 1-6-3. Cuando se añade vibración a la frecuencia de vibración lentamente, la dirección de la fuerza de la mano y la expansión y contracción del resorte experimentan vibración en el mismo sentido y con el mismo ritmo. No hay falta de correspondencia en la entrada o respuesta en este momento, con lo que la diferencia de fase es 0 (Diagrama 1-6-3, sección superior). Sin embargo, cuando la frecuencia de entrada aumenta considerablemente, la diferencia de fase finalmente es de 180 grados, ya que la fuerza inercial del peso y la fuerza de excitación de la mano actúan en direcciones opuestas (Diagrama 1-6-3, sección inferior). Ten en cuenta que la diferencia de fase sería de 90° grados si la vibración se produjera a la frecuencia natural (Diagrama 1-6-3, sección media).

# 1 7 Respuesta de frecuencia

▶ Para el análisis del movimiento y de la suspensión de los vehículos

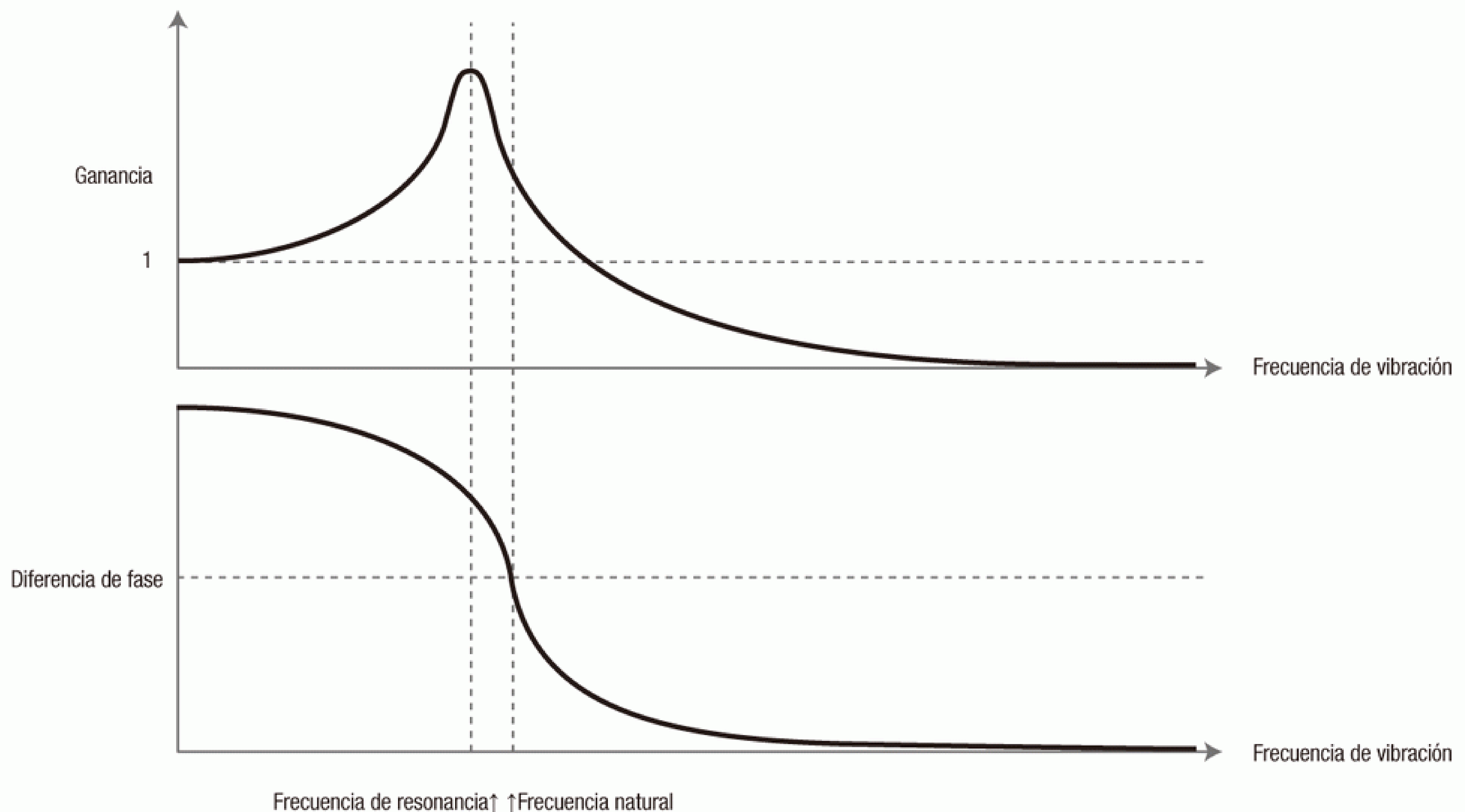
## Comprensión de la diferencia de respuesta a la excitación de frecuencia

La respuesta, como la amplitud y la diferencia de fase, a una frecuencia de excitación (frecuencia de vibración de excitación) se denomina "respuesta de frecuencia". Hasta ahora, hemos discutido por separado los cambios de diferencia de fase y amplitud debidos a la frecuencia de vibración de la excitación (frecuencia), pero ahora veremos la manera en que las respuestas de fase y amplitud del sistema de vibración cambian debido a la frecuencia de la excitación.

En el análisis de vibración de un auto, el análisis de la respuesta de frecuencia a menudo se realiza mediante un diagrama de Bode. El Diagrama 1-7-1 es un diagrama de Bode y el gráfico de la sección superior se denomina "diagrama de magnitudes". En él se muestra la magnitud (ganancia) de la respuesta respecto de la frecuencia de excitación (entrada). El gráfico de la sección inferior del Diagrama 1-7-1 se denomina "diagrama de fases" y en él se muestra el grado de desplazamiento de la respuesta (diferencia de fase) en comparación con una entrada.

Hasta ahora, hemos pensado en un sistema de vibración que consiste en un peso y un resorte. Para sumar un poco de sofisticación, intentemos pensar en un sistema de vibración con un amortiguador añadido (Diagrama 1-7-1). Para comenzar, fijemos la relación de amortiguación en un valor inferior a 1; en otras palabras, apliquemos subamortiguación.

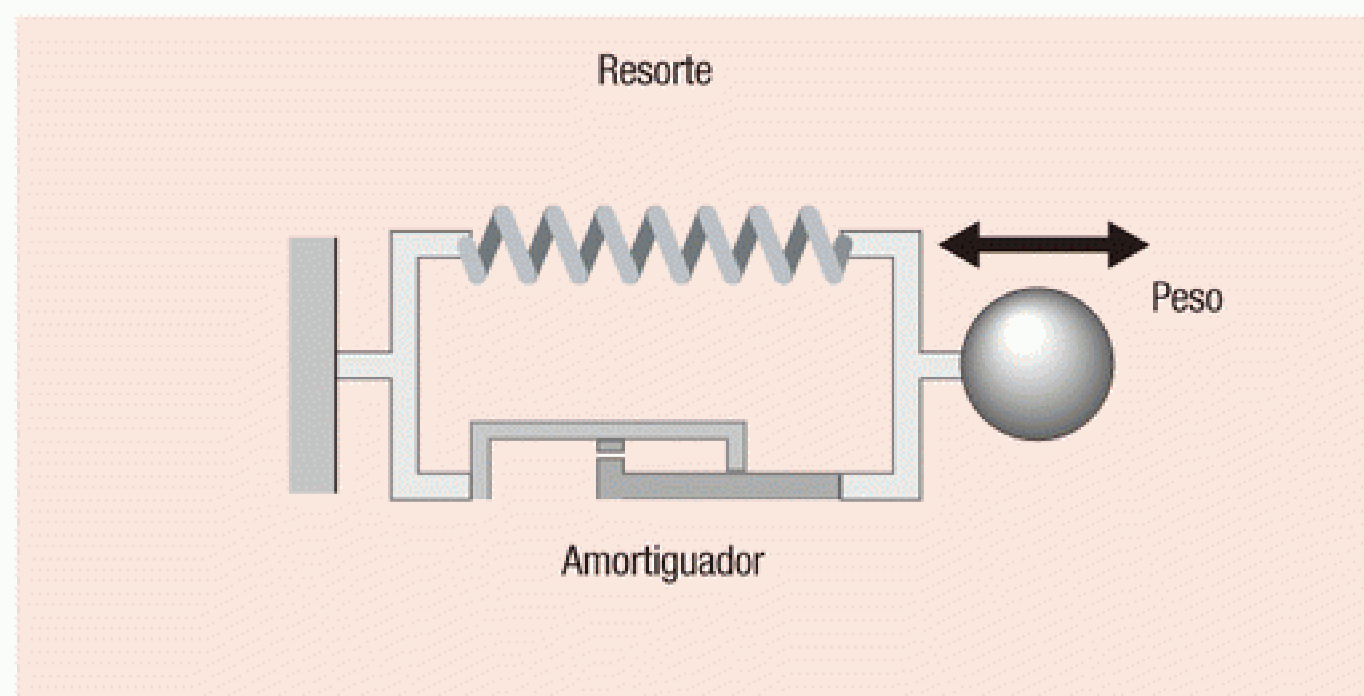
**Diagrama 1-7-1** Diagrama de Bode en el que se muestra la respuesta de frecuencia de un sistema de vibración que consiste en un resorte, un amortiguador y un peso.



## Captura de la vibración del sistema de amortiguación a través del Diagrama de Bodea

Con este modelo en mente, aumentemos gradualmente la frecuencia de la vibración desde su estado estacionario. Cuando la frecuencia es considerablemente baja, la relación de amplitud es 1; en otras palabras, la amplitud de la excitación y la amplitud del resorte no tienen diferencia. A partir de esto, a medida que la frecuencia aumenta, la amplitud lo hace y la diferencia de fase cobra mayor magnitud. Una vez que la frecuencia de vibración alcanza una cifra determinada, la amplitud se maximiza; esto se denomina "resonancia". A partir de esto, le elevación de la frecuencia reducirá la amplitud y el valor será cercano a 0. Por otra parte, respecto de la diferencia de fase, cuando la frecuencia de vibración es considerablemente baja, la excitación y el resorte se mueven con el mismo ritmo y en la misma dirección, con lo que el valor es 0, pero esto genera un desvío de -90 grados de la frecuencia de vibración natural, y a una frecuencia de vibración extremadamente alta la frecuencia de vibración natural se encuentra a -180 grados.

**Diagrama 1-7-2** Este modelo consiste en un resorte, un amortiguador y un peso. El amortiguador se incorpora en paralelo con el resorte para evitar que la amplitud se vuelva infinitamente grande en la resonancia.






# 1-8 Vibración en la suspensión

## ▶ Vibración en un sistema de grados múltiples de libertad

A fin de facilitar el proceso, hemos intentado comprender los aspectos básicos de la vibración a través de un modelo de vibración simple en el que se combinan, uno a uno, elementos de vibración como un resorte, un peso y un amortiguador. Sin embargo, un auto real es un sistema de vibración en el que se combinan múltiples vibraciones de estos elementos. Veamos las características básicas de los múltiples elementos del sistema de control de vibración antes de realizar el control de vibración; por ejemplo, la modificación de la suspensión real.

### Características de vibración de la suspensión

Aunque existen varios mecanismos en la suspensión de un automóvil, esta es en esencia un sistema de vibración que consta de masa, de un resorte y de un amortiguador, y se puede representar como se muestra en el Diagrama 1-7-2. El amortiguador y el resorte, ubicados entre la rueda y la carrocería del vehículo, representan lo que denominamos “sistema de suspensión del auto”, y el amortiguador y el resorte ubicados entre la superficie de la carretera y la rueda son los neumáticos.

Hagamos una demostración con las diferentes frecuencias de vibración que actúan en este modelo (Diagrama 1-8-2). En una frecuencia muy cercana a la de un estado de reposo, el desplazamiento de la carrocería y el desplazamiento de una ondulación de la carretera serán los mismos, con lo que la relación de amplitud será 1. A partir de esto, si se aumenta lentamente la frecuencia la amplitud también aumentará. Cuando se alcanza una frecuencia de vibración determinada, la amplitud alcanza un valor pico y se produce resonancia en las secciones superiores del resorte. Si la frecuencia se aumenta más, la amplitud disminuye; sin embargo, esta última se amplifica nuevamente a una frecuencia determinada y se produce resonancia en las secciones inferiores del resorte, lo que a su vez aumenta la amplitud de la carrocería. Si la frecuencia se aumenta aún más, la amplitud disminuirá de nuevo y finalmente se acercará a 0.

**Diagrama 1-8-1** **Modelo de una sola rueda (1/4 de la vibración del vehículo). El neumático, el resorte y el amortiguador tienen características diferentes de un sistema de vibración.**

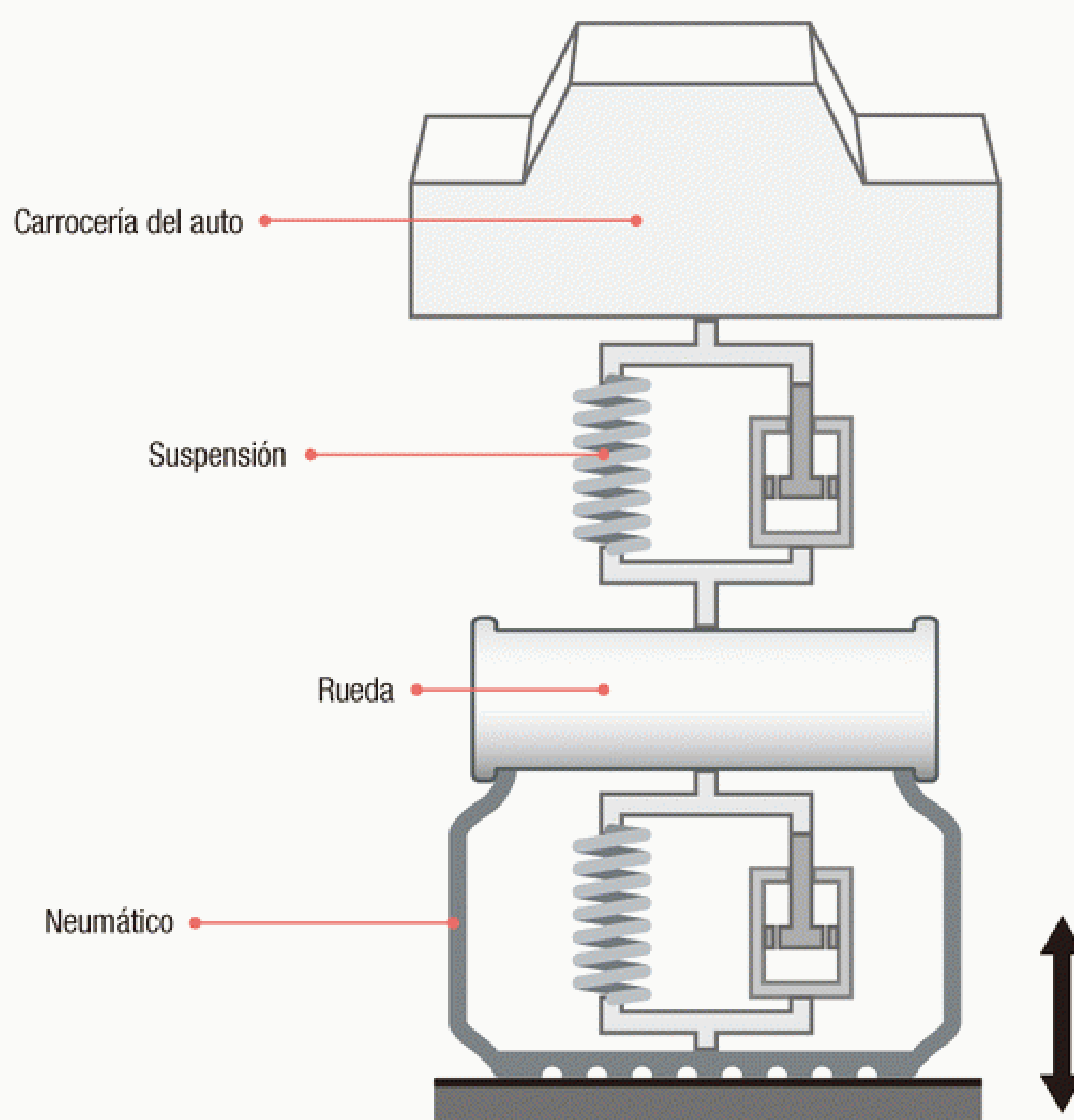
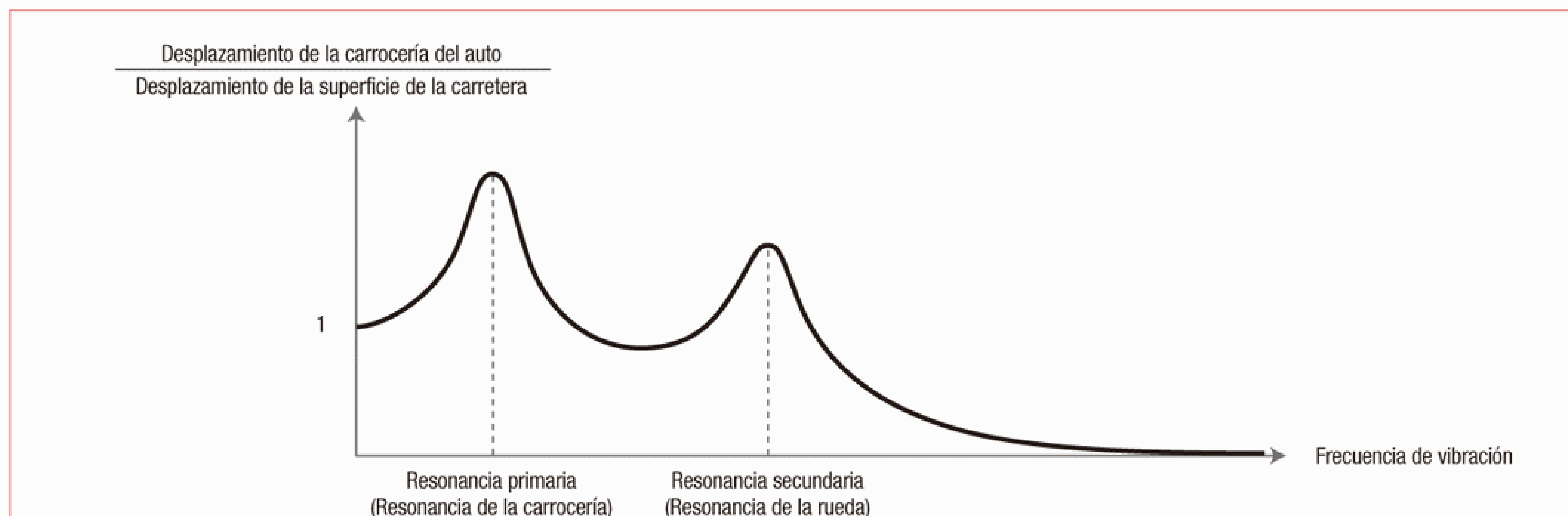





Diagrama 1-8-2 **Cambio a medida que la frecuencia de vibración se aumenta gradualmente. La resonancia en la carrocería tiene lugar a una frecuencia de vibración relativamente baja mientras que la resonancia de la rueda se produce a frecuencias de vibración más altas.**




## Modo de vibración

En el ejemplo anterior se produjo resonancia dos veces, pero se puede generar resonancia muchas veces a medida que el sistema se mueva en diferentes direcciones. El número de direcciones en las que el sistema se puede mover se denomina "grado de libertad". En este caso, tanto el resorte como el neumático y el resorte se pueden mover hacia arriba y abajo en una dirección, por lo que se involucran dos frecuencias en total y debido a que se pueden producir dos tipos de resonancia este sistema de vibración tendrá un grado de libertad equivalente a 2.

La resonancia inicial se denomina "resonancia primaria", mientras que la segunda se denomina "resonancia secundaria". La resonancia en un equipo generalmente se produce un número ilimitado de veces, pero lo que importa en ingeniería es la resonancia de orden reducido, y la resonancia de orden elevado generalmente se ignora. En otras palabras, en este ejemplo la resonancia de lo que se encuentra sobre el resorte es más importante que la resonancia de lo que se encuentra debajo de él. Esto es así porque cuando se involucra un mismo nivel de energía de vibración la amplitud de baja frecuencia tiende a ser mayor, y a medida que estos componentes controlan los fenómenos de todo el sistema determinan, por consiguiente, la mayoría de las características de vibración.



Diagrama 1-8-3 **La evaluación de la suspensión del GT-R que participó en Nürburgring incluyó la prueba de la suspensión a varias frecuencias de vibración y el análisis de la respuesta de frecuencia.**

# 2-1 Dinámica de los neumáticos

## ▶ Las fuerzas que crea el neumático

### Fuerza de viraje

El tipo de fuerza que deforma un objeto de manera tangencial se denomina “fuerza de cizalladura” y la propiedad del objeto que contrarresta dicha fuerza se denomina “módulo de cizalladura”. Cuando un neumático se expone a fuerzas de cizalladura en dirección transversal, dicho neumático se deforma como en el Diagrama 2-1-1; sin embargo, al mismo tiempo, el módulo de cizalladura del neumático contrarrestará la fuerza de cizalladura. Esta propiedad de contrarresto del neumático que actúa contra su deformación es lo que genera las fuerzas necesarias para que el auto acelere, desacelere y vire.

Veamos esto más de cerca. En el Diagrama 2-1-2 se presenta una ilustración de corte de un neumático durante el viraje. Como se puede ver, existe una diferencia entre la dirección de giro del neumático y la dirección de desplazamiento del auto. En otras palabras, se genera fuerza a partir de la interacción del neumático con la superficie de la carretera a medida que el neumático gira y se deforma lateralmente al mismo tiempo. El ángulo que se forma entre el plano de giro y la dirección de desplazamiento se denomina “ángulo de deslizamiento”. La fuerza que actúa perpendicularmente respecto de la dirección de desplazamiento se denomina “fuerza de viraje”. Un auto puede virar gracias a la fuerza de viraje de los neumáticos.

En general, si el módulo de cizalladura es mayor, se puede generar una fuerza de viraje mayor a partir del mismo ángulo de deslizamiento. Dicho esto, si el módulo de cizalladura es demasiado grande, la fricción puede experimentar saturación con un ángulo de deslizamiento reducido, lo que puede transmitir una sensación innatural al piloto. Si el módulo de cizalladura es demasiado reducido, la deformación del neumático será demasiado extrema, y esto puede transmitir al piloto una sensación de incomodidad o inseguridad.

**Diagrama 2-1-1** **Diagrama de corte transversal en el que se ilustran la deformación y la fuerza del neumático. En general, cuanto mayor sea el módulo de cizalladura mayor será la fuerza de viraje**

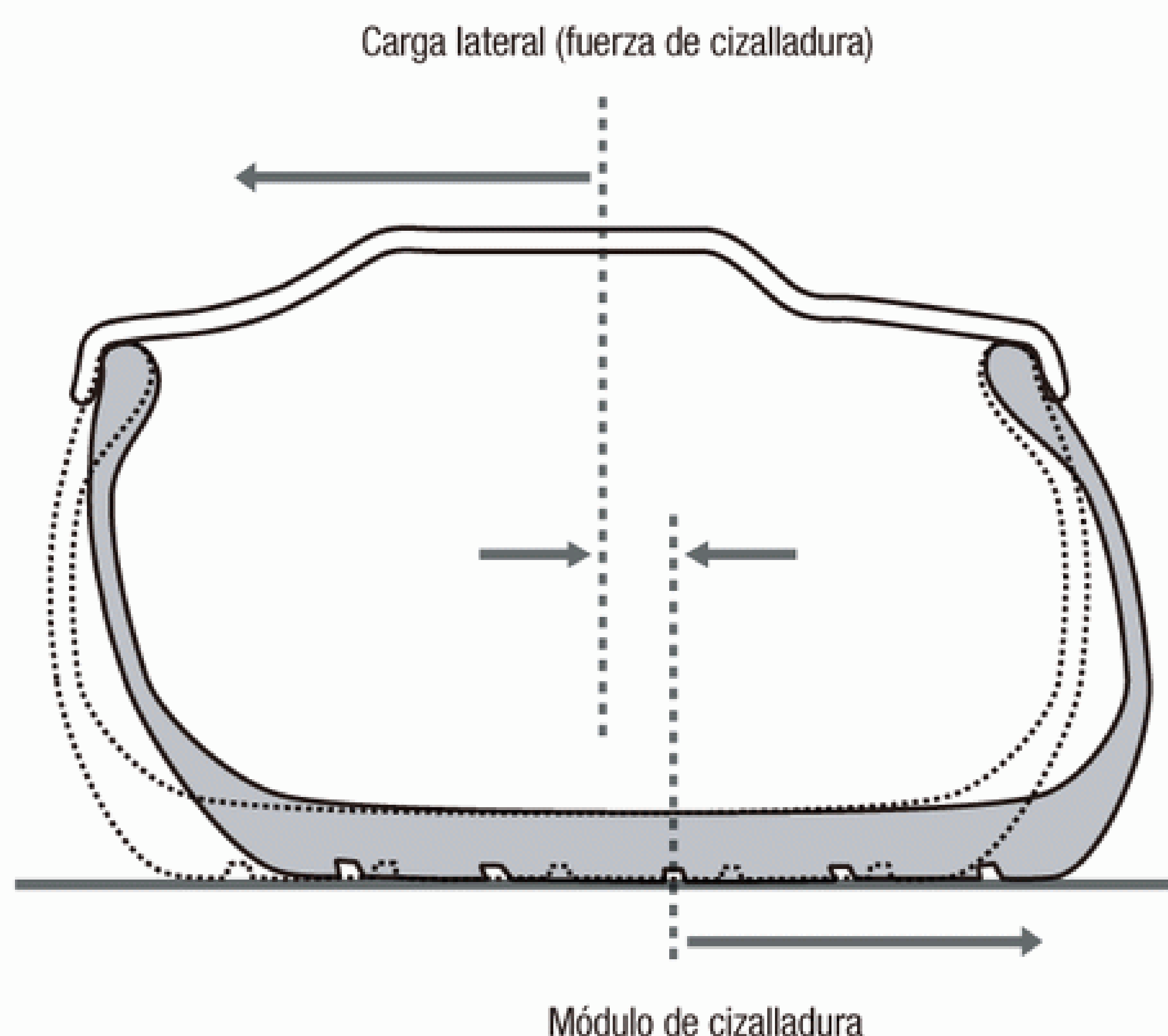
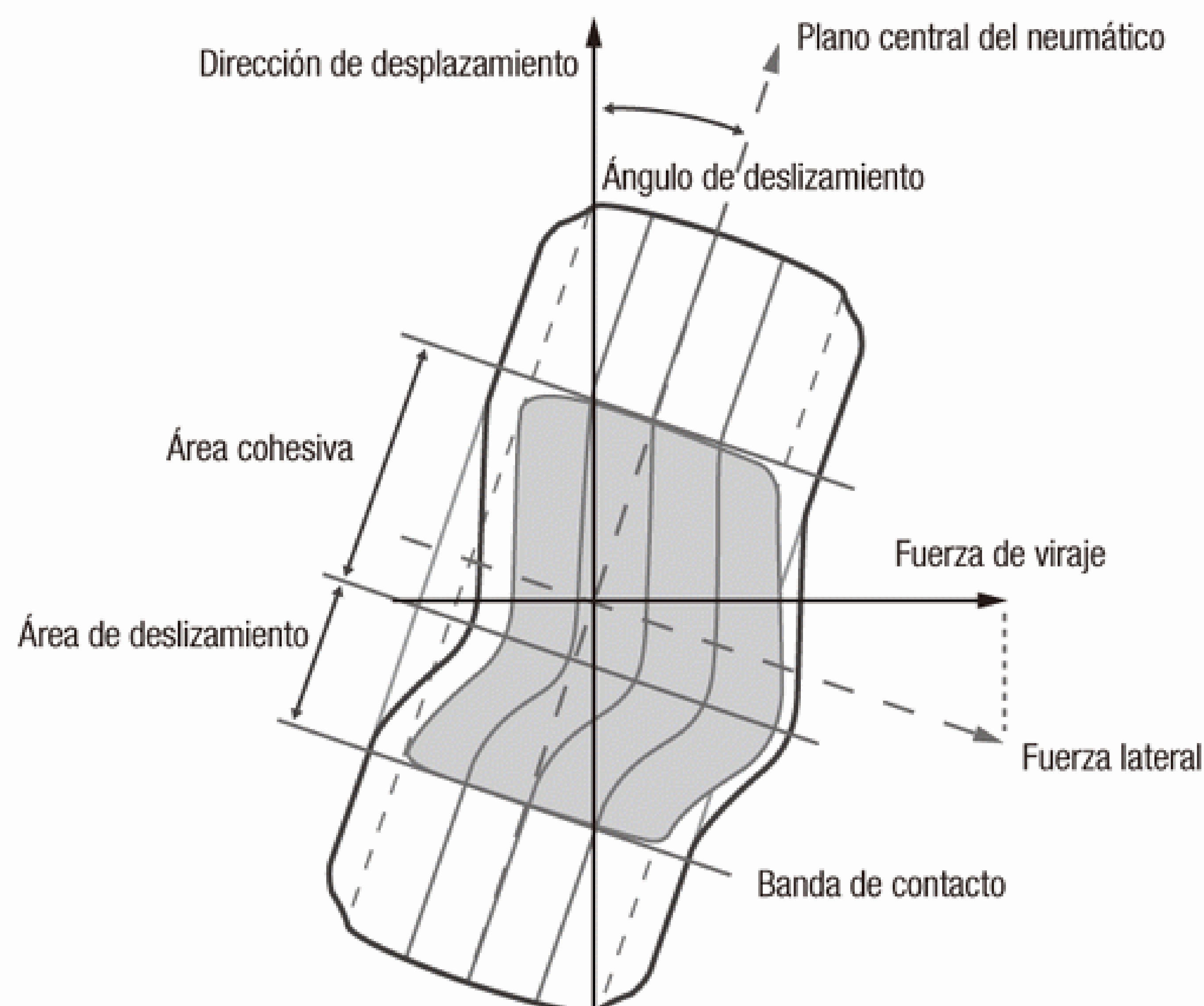


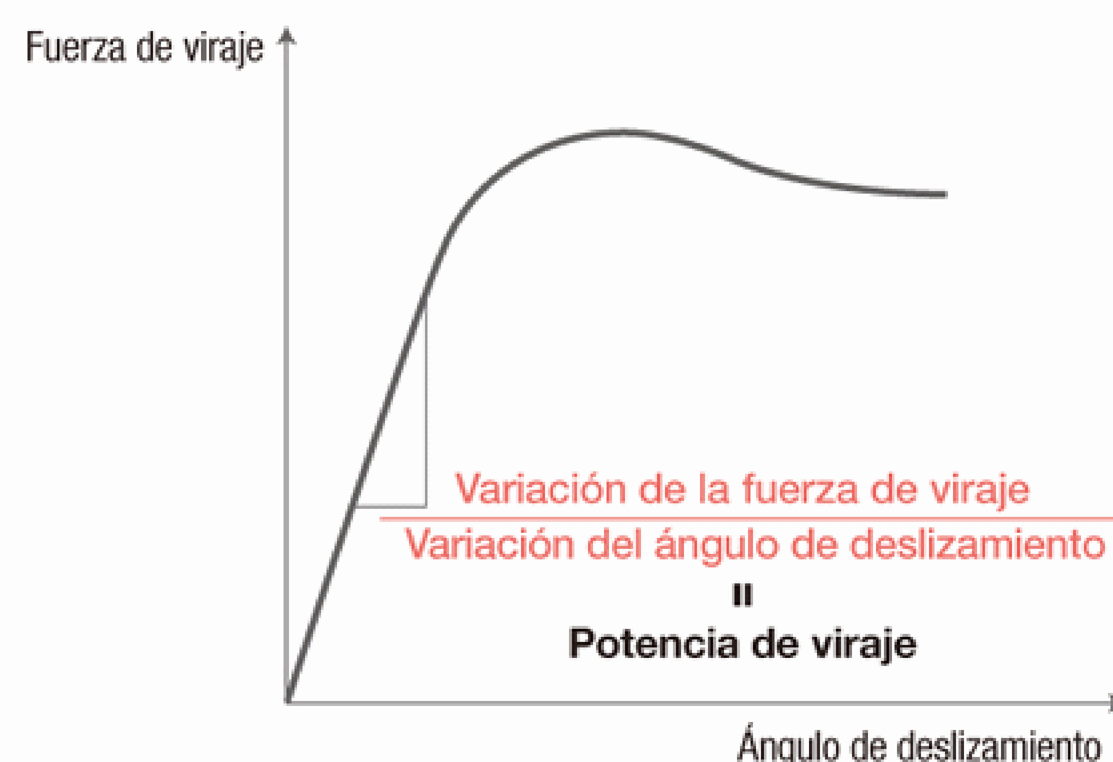

**Diagrama 2-1-2** **Vista superior en la que se ilustra la relación entre deformación y fuerza. La fuerza lateral tiene lugar en sentido perpendicular al plano central del neumático. La fuerza de viraje es un elemento de la fuerza lateral que tiene lugar en sentido perpendicular a la dirección de desplazamiento**



## Relación entre la fuerza de viraje y el ángulo de deslizamiento

En el Diagrama 2-1-3 se muestra la relación entre el ángulo de deslizamiento y la fuerza de viraje. Cuando el ángulo de deslizamiento es reducido, la fuerza de viraje experimenta un aumento lineal. Sin embargo, a medida que el ángulo de deslizamiento aumenta, la fuerza de viraje experimenta saturación. Este ritmo de cambio de la fuerza de viraje se denomina potencia de viraje. Se puede decir que un neumático que genera una fuerza de viraje grande con un ángulo de deslizamiento reducido tiene muchísima potencia de viraje.

Diagrama 2-1-3 **Correlación entre el ángulo de deslizamiento y la fuerza de viraje. La potencia de viraje es grande dentro del rango en el que el ángulo de deslizamiento es relativamente reducido. Una vez que el ángulo de deslizamiento alcanza un valor determinado, la potencia de viraje deja de aumentar.**



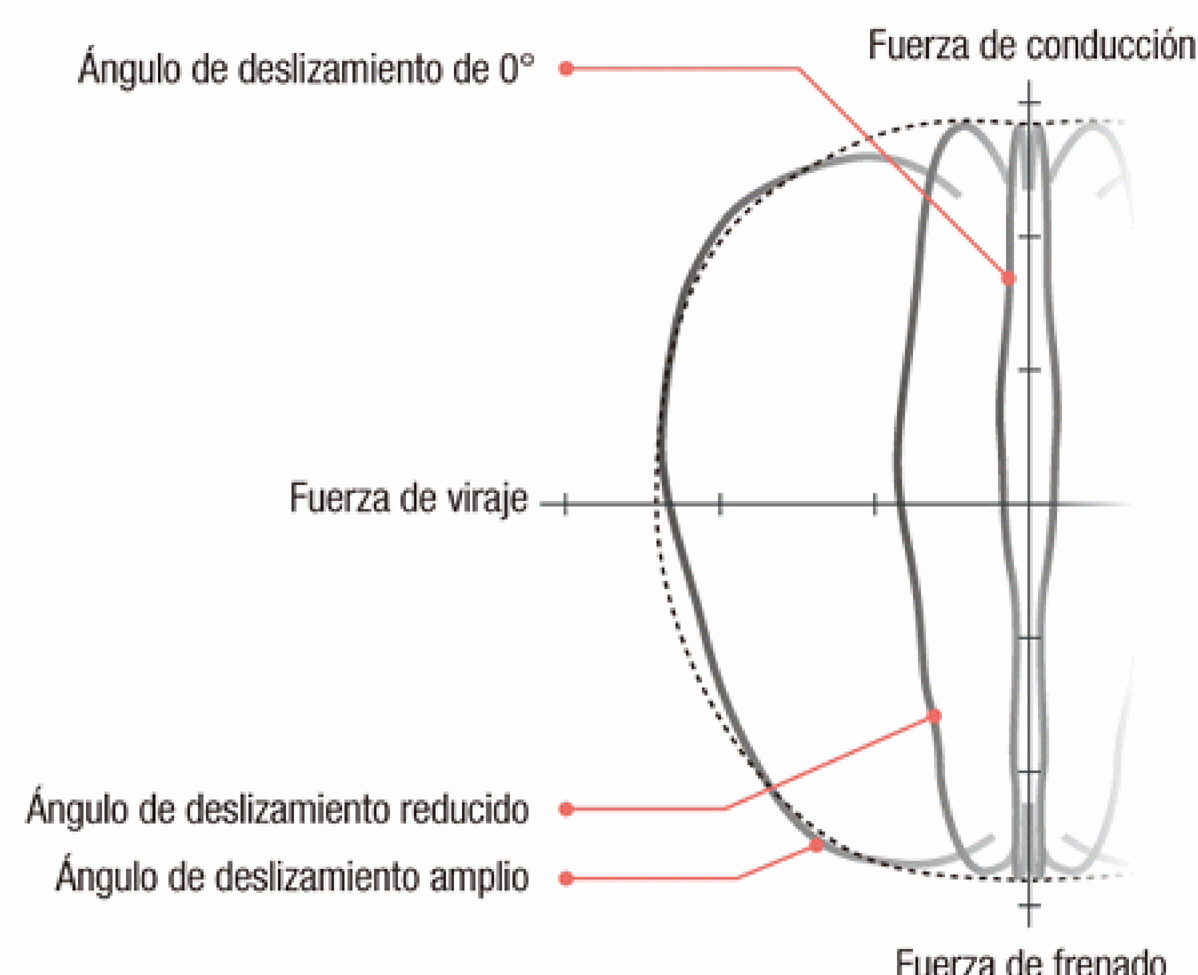

## Presión de aire y potencia de viraje

En general, cuando la presión de aire del rango es relativamente reducida, el módulo de cizalladura aumenta al aumentar esta; de esta manera, aumenta la potencia de viraje. Sin embargo, un aumento en la presión de aire reduce el área de contacto del neumático. El módulo de cizalladura y el área de contacto del neumático se oponen a medida que la presión de aire aumenta. Con una carga vertical reducida, la reducción del área de contacto del neumático debida al aumento de la presión de aire es superior al aumento del módulo de cizalladura; por lo tanto, la potencia de viraje disminuye. Por otra parte, cuando la carga vertical es alta, el aumento resultante del módulo de cizalladura debido al aumento de la presión de aire pasa a ser dominante, lo que aumenta la potencia de viraje. Para maximizar la potencia de viraje, las características del neumático y de la carga se deben considerar y equilibrar cuidadosamente.

## Fuerza lateral del neumático asociada con la conducción y el frenado

Si se mira el neumático desde la perspectiva de un pájaro, la fuerza de agarre generada perpendicularmente respecto de la dirección de giro del neumático se denomina "fuerza lateral". Es importante comprender la manera en que esta fuerza lateral se asocia con la conducción y el frenado del vehículo. Cuando se accionan los pedales del acelerador o de los frenos, la fuerza de agarre del neumático se emplea para la conducción y el frenado, lo que reduce la cantidad de fuerza lateral que se puede crear aun con los mismos ángulos de deslizamiento. Esto se ilustra en el Diagrama 2-1-4. Aunque esto se denomina "círculo de fricción", el diagrama en realidad tiene forma oval, no es un círculo perfecto, ya que las fricciones longitudinal y lateral tienen efectos diferentes sobre el neumático. Debido a que la aceleración y el frenado se repiten continuamente en un auto de carreras, la fricción que se produce en sentido diagonal tiene un efecto muy marcado en los tiempos de vuelta.

Diagrama 2-1-4 **Círculo de fricción. La fuerza de viraje del neumático se ve afectada por el ángulo de deslizamiento. El perímetro oval del círculo de fricción indica la máxima fuerza de viraje.**



# 2-2 Conducción circular constante

## ▶ El viraje depende del equilibrio de momento de los neumáticos delanteros y traseros

### Definición de "balance de dirección"

Cuando se conduce un auto con un ángulo de dirección y una velocidad constantes, este describirá una trayectoria circular con un radio fijo. Esto se denomina "conducción circular constante" y a menudo se cita en la dinámica automotriz. La observación de un auto sujeto a conducción circular constante puede revelar las propiedades fundamentales del movimiento vehicular.

Imagina, por ejemplo, que un auto funciona bajo conducción circular constante y que la velocidad se aumenta gradualmente. Si el momento de la rueda delantera se reduce, a medida que el auto acelere el radio de giro aumentará con la velocidad (la línea de conducción se expandirá). Como resultado, el ángulo de dirección se debe aumentar para mantener la trayectoria de conducción circular constante original.

Por el contrario, si el momento de la rueda delantera aumenta, el radio de giro se reducirá a medida que el auto acelere (la línea de conducción se contraerá), con lo que el ángulo de dirección se debe reducir para mantener la línea de conducción original. La carencia de ángulo de dirección a medida que la velocidad aumenta se denomina "subviraje" (SUV), mientras que el exceso de ángulo de dirección se denomina "sobreviraje" (SOV). Cuando el radio de giro se puede mantener sin influencia de la variación de velocidad, el concepto en cuestión es el de "viraje neutro" (VN). Estos estados de dirección diferentes del auto se denominan "características de dirección". Se debe tener en cuenta que un auto con sobreviraje alcanzará el radio de giro "0" a una velocidad determinada (Diagrama 2-2-2). Cuando el radio de giro es "0", significa que el auto realiza un trompo. La velocidad con la que el auto comienza a hacer un trompo se denomina "velocidad de estabilidad crítica".

**Diagrama 2-2-1** **Cambios en el barrido del vehículo cuando la velocidad aumenta**

**OS**: Momento de rueda delantera > Momento de rueda trasera
**US**: Momento de rueda delantera < Momento de rueda trasera
**NS**: Momento de rueda delantera = Momento de rueda trasera

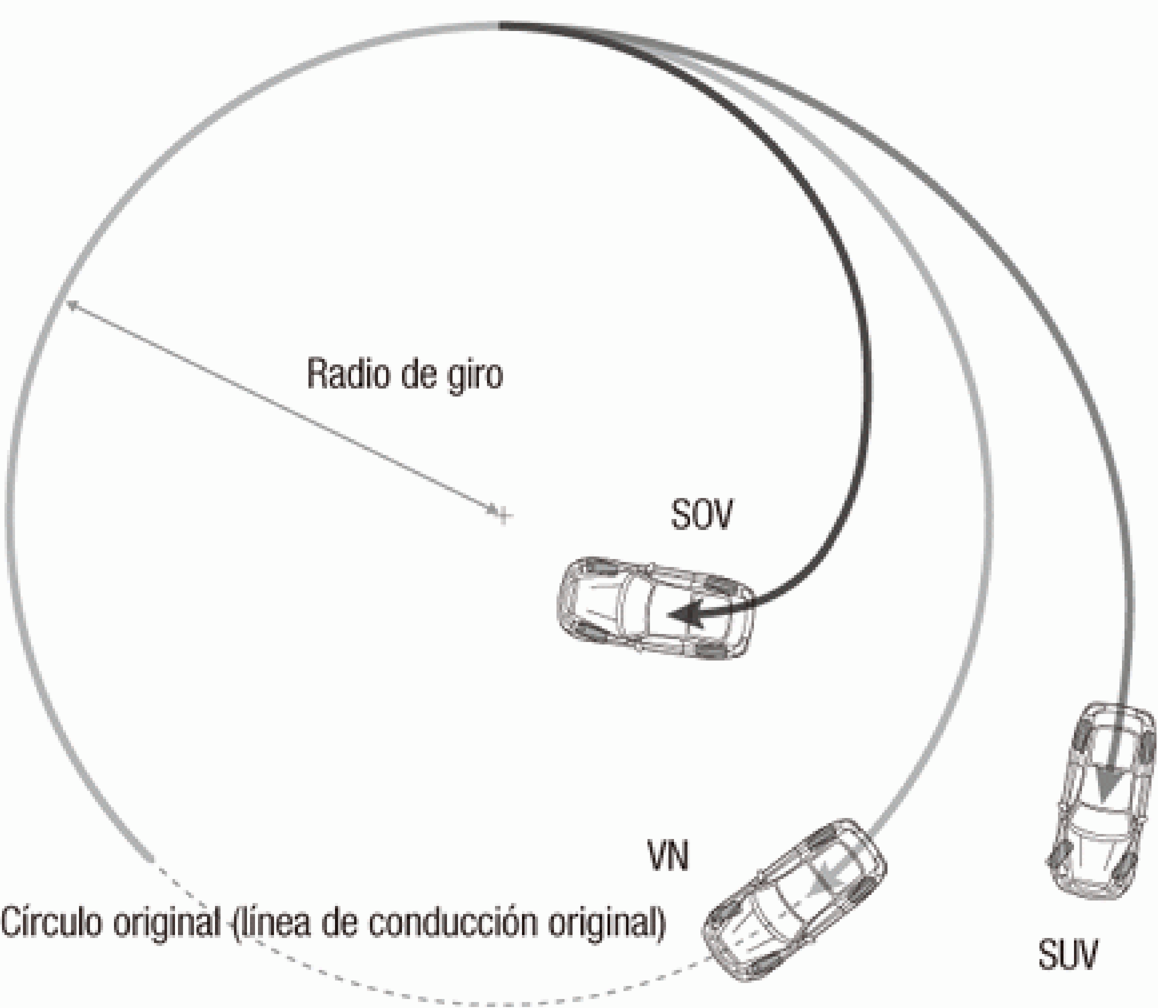
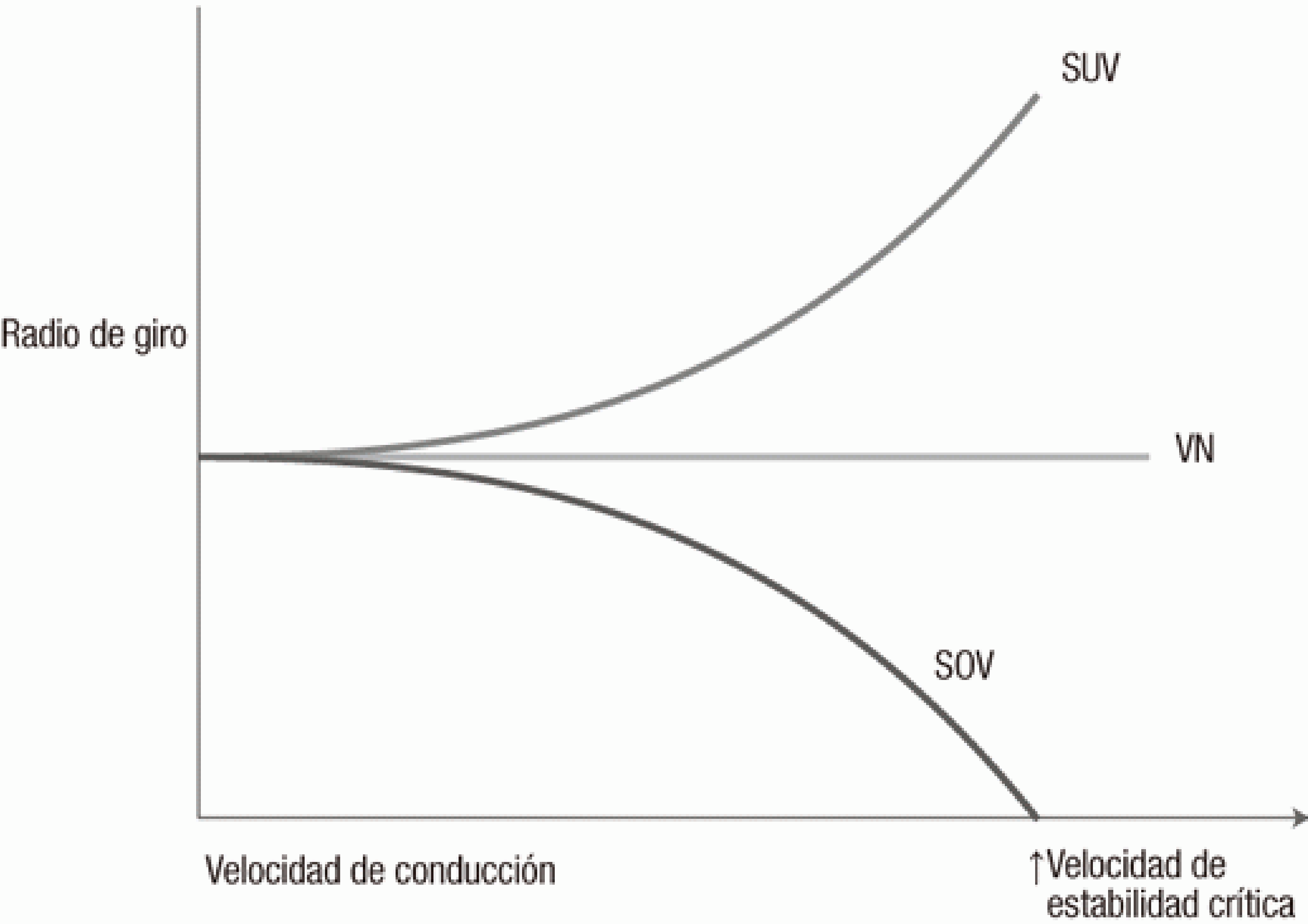



**Diagrama 2-2-2** **Correlación entre velocidad y radio de giro con un ángulo de dirección estable**




**Cuadro 2-2-1** **Características de dirección**

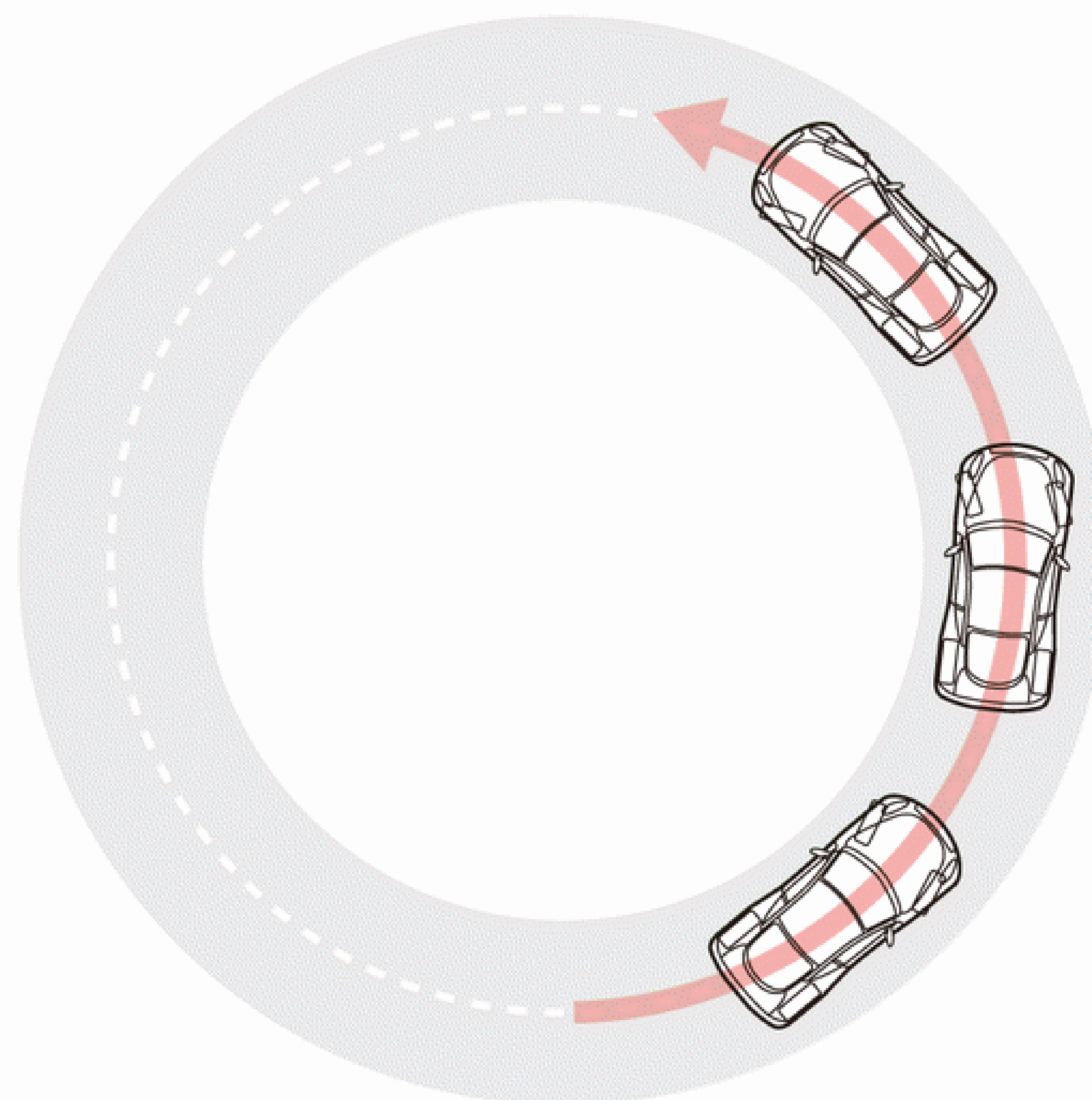
| | SUV | VN | SOV |
|---|---|---|---|
| **M; Momento para hacer virar el auto** | M rueda delantera< M rueda trasera | M rueda delantera< M rueda trasera | M rueda delantera< M rueda trasera |
| **$\beta$ : Ángulo de deslizamiento** | $\beta$ rueda delantera > $\beta$ rueda trasera | $\beta$ rueda delantera = $\beta$ rueda trasera | $\beta$ rueda delantera < $\beta$ rueda trasera |

## Relación entre las características de dirección y el ángulo de deslizamiento

Existe una conexión interesante entre el ángulo de deslizamiento de la rueda delantera y trasera ($\beta$ rueda delantera, $\beta$ rueda trasera) y las características de dirección. Consulta el Diagrama 2-2-3. Bajo condiciones de conducción circular constante, si el ángulo de deslizamiento de la ruedas delantera y trasera es $\beta$ rueda delantera >$\beta$ rueda trasera, se produce subviraje, si $\beta$ rueda delantera = $\beta$ rueda trasera, el estado es neutro, y si $\beta$ rueda delantera < $\beta$ rueda trasera, se produce sobreviraje. Esta conexión será verdadera aun cuando exista una fuerza lateral aparte de la fuerza de viraje y esta última sea o no proporcional al ángulo de deslizamiento. La conexión es fija en términos geométricos cuando un auto se somete a conducción circular constante.

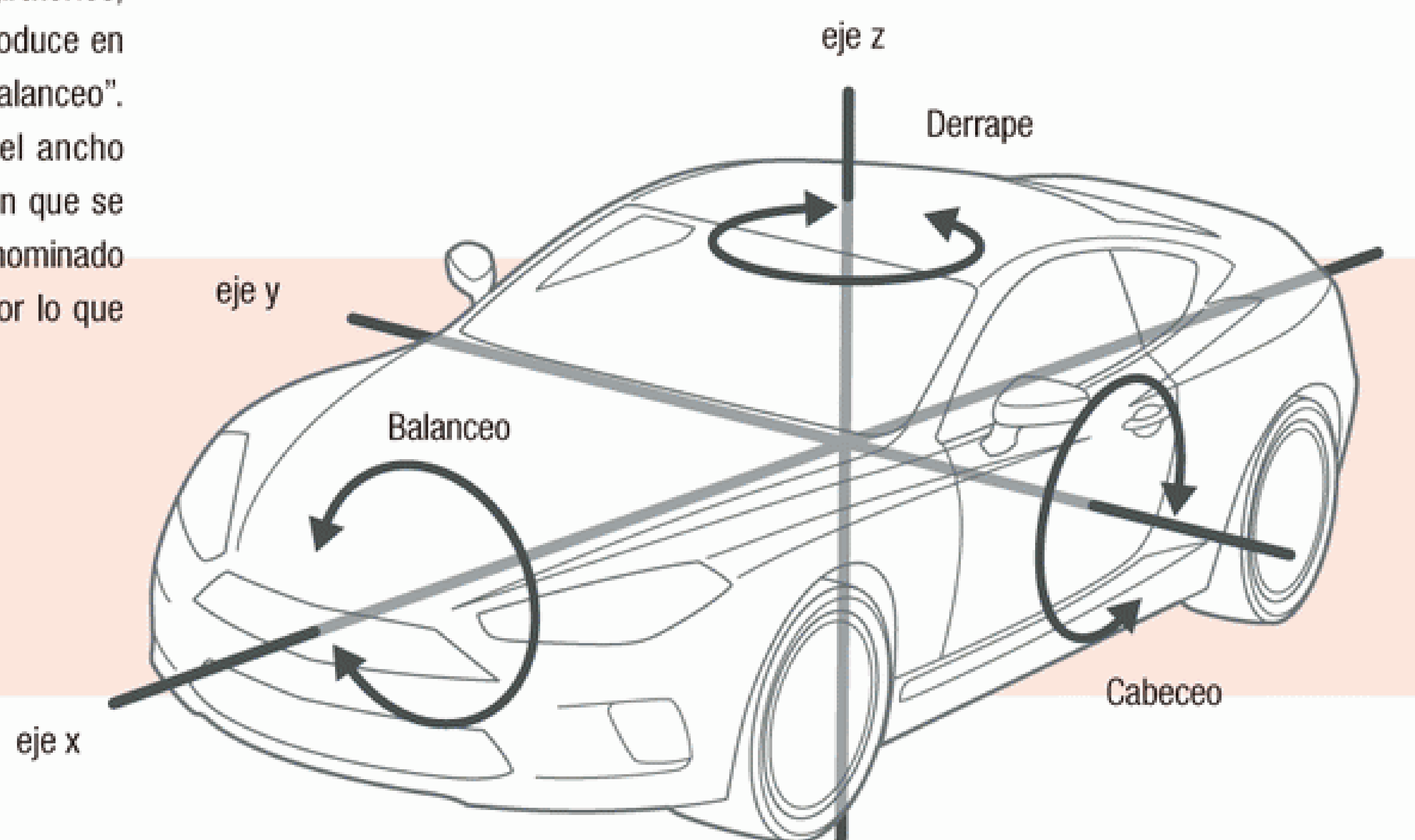
Diagrama 2-2-3 **Las características de dirección cambian según la diferencia de ángulo de deslizamiento de los neumáticos delanteros y traseros**



**CONSEJOS** Cuando se habla de movimientos de viraje y suspensión, la fuerza que deriva del vehículo a menudo se categoriza en tres movimientos giratorios, como se muestra en el Diagrama 2-2-4. El primero es una rotación que se produce en dirección al punto medio del largo del vehículo (eje x), también denominado "balanceo". El segundo es una rotación que se produce en dirección al punto medio del ancho del vehículo (eje y), también denominado "cabeceo". El último es una rotación que se produce en dirección al punto medio de la altura del vehículo (eje z), también denominado "derrape". Estas designaciones terminológicas aparecerán con frecuencia, por lo que será conveniente recordarlas.

Diagrama 2-2-4 **Los tres movimientos giratorios que se producen en un vehículo**



# 2-3 La respuesta de un auto a cambios en el ángulo de dirección

▶ El movimiento de un automóvil es un fenómeno de oscilación

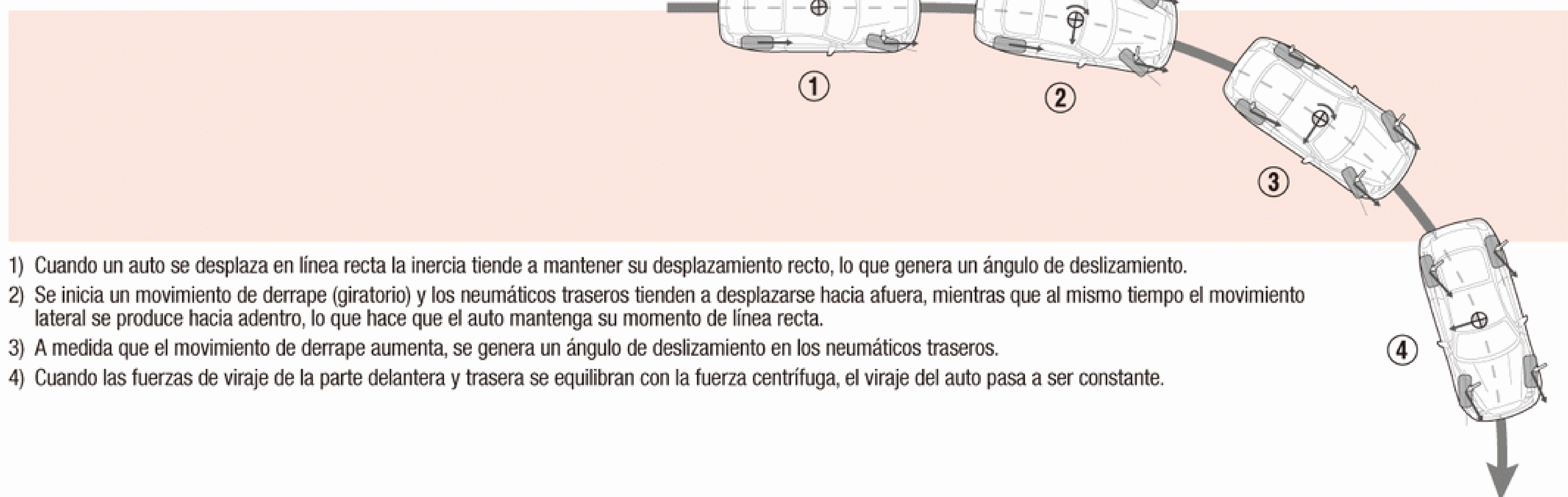
## Mecanismo de viraje hacia adentro

La observación de un auto sujeto a conducción circular constante revela las propiedades fundamentales del movimiento vehicular. También revela la manera en que el auto responde a los cambios del ángulo de dirección, otro tema importante dentro del análisis del movimiento vehicular.

Utilizando el Diagrama 2-3-1, veamos paso a paso el mecanismo de viraje hacia adentro. (1) Cuando se acciona la dirección de un auto que se desplaza en línea recta, el momento inicial del auto tenderá a mantener el desplazamiento recto del vehículo. En ese instante, se creará un ángulo de deslizamiento entre la dirección a la que apuntan los neumáticos delanteros y el momento del auto al desplazarse en línea recta, lo que generará fuerza de viraje. Debido a que la fuerza de viraje tiene lugar con la deformación del neumático, existe un leve retardo. (2) La presencia de fuerza de viraje originará un movimiento de derrape (giratorio); sin embargo, en ese momento, los neumáticos traseros continuarán moviéndose en línea recta debido al momento de inercia original. (3) Después de un tiempo, se generará un ángulo de deslizamiento en los neumáticos traseros también, lo que generará fuerza de viraje. (4) Cuando la fuerza de viraje delantera y trasera se estabilizan, el índice de derrape (velocidad de derrape) se vuelve definido y el viraje del auto se estabiliza.

Es importante comprender que el movimiento de derrape no se produce simultáneamente con el movimiento de la dirección, sino que existe una leve diferencia de fase debido a la relación entre el momento de inercia del auto y la generación de fuerza de viraje de los neumáticos.

**Diagrama 2-3-1** **Mecanismo de viraje hacia adentro**




1) Cuando un auto se desplaza en línea recta la inercia tiende a mantener su desplazamiento recto, lo que genera un ángulo de deslizamiento.
2) Se inicia un movimiento de derrape (giratorio) y los neumáticos traseros tienden a desplazarse hacia afuera, mientras que al mismo tiempo el movimiento lateral se produce hacia adentro, lo que hace que el auto mantenga su momento de línea recta.
3) A medida que el movimiento de derrape aumenta, se genera un ángulo de deslizamiento en los neumáticos traseros.
4) Cuando las fuerzas de viraje de la parte delantera y trasera se equilibran con la fuerza centrífuga, el viraje del auto pasa a ser constante.

## Características de dirección y respuesta de un auto

La respuesta del auto al movimiento de la dirección por parte del piloto depende de las características de dirección y la velocidad del auto. En el Diagrama 2-3-2 se ilustra la manera en que el auto responde a una acción de dirección por impulsos (accionamiento marcado y luego acomodamiento). Un auto que experimente subviraje, cuando exceda una velocidad determinada, al principio se volverá inestable y luego pasará gradualmente a un estado constante. Un auto con viraje neutro no se volverá inestable, sino que se estabilizará en un estado constante de inmediato. Mientras tanto, un auto con sobreviraje, si supera la velocidad de estabilidad crítica, realizará de inmediato un trompo. Estas diferentes reacciones se han resumido en el cuadro 2-3-1.

Los autos con subviraje o viraje neutro se estabilizarán tarde o temprano; sin embargo, un auto con sobreviraje perderá estabilidad solo si alcanza velocidades superiores a la de estabilidad crítica.

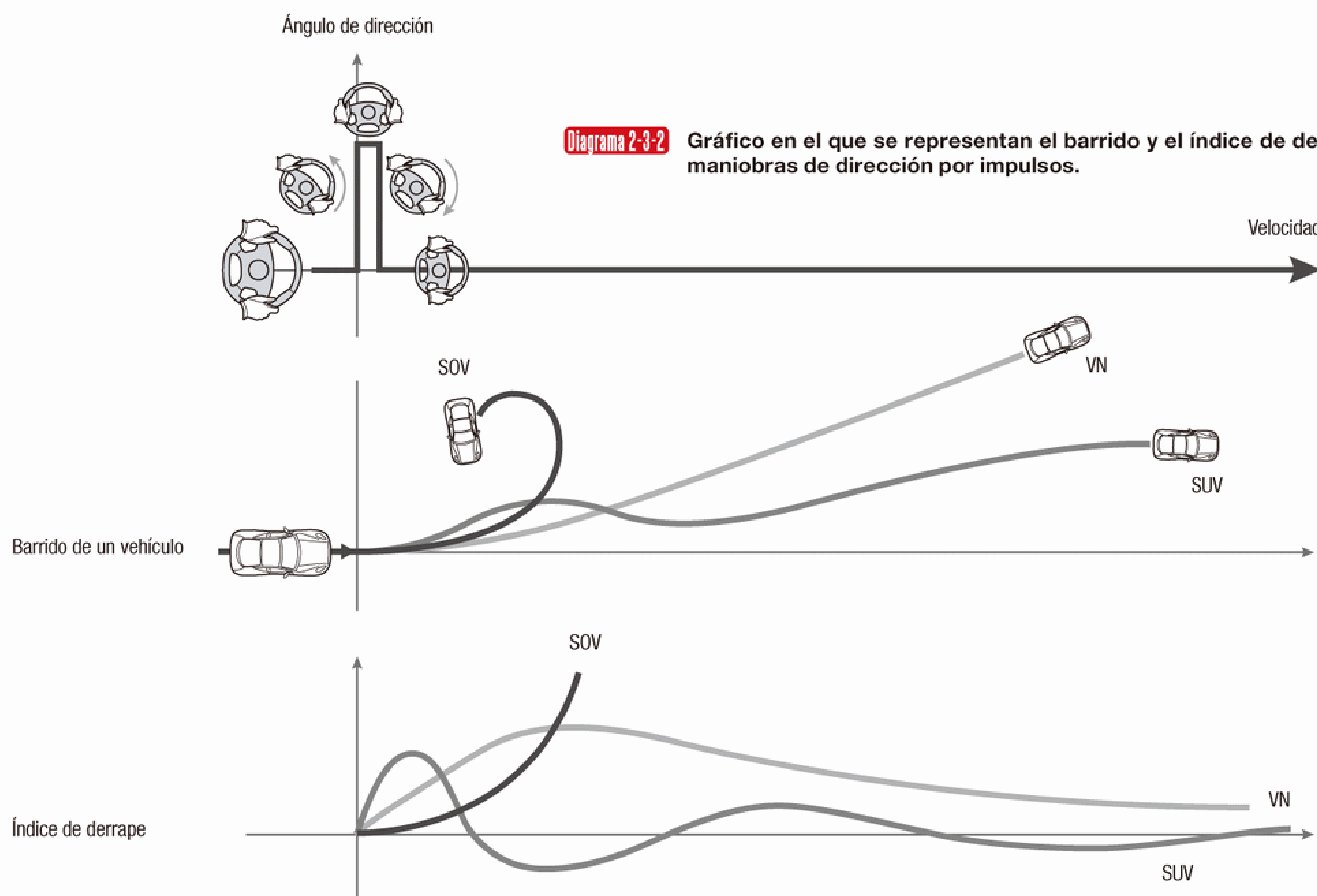



**Diagrama 2-3-2** **Gráfico en el que se representan el barrido y el índice de derrape ante maniobras de dirección por impulsos.**

**Cuadro 2-3-1**

| | | |
|---|---|---|
| US | | Amortiguación oscilatoria |
| NS | Amortiguación no oscilatoria | |
| SOV | | Despiste |

↑ Velocidad de estabilidad crítica Velocidad →

**Resumen de respuestas de autos con diferentes características de dirección: subviraje (SUV), viraje neutro (VN) y sobreviraje (SOV). Un auto con sobreviraje realizará un trompo tras exceder la velocidad de estabilidad crítica**

## Cómo aplicar la teoría de la oscilación al movimiento de un vehículo

Recuerda la diferencia de oscilación asociada con la relación de amortiguación, de acuerdo con lo que se explica en la sección 1-5. En esta sección, confirmamos que se produce subamortiguación cuando la relación de amortiguación es inferior a 1, lo que significa que la respuesta de vibración comienza a oscilar. Si la relación de amortiguación es superior a 1, en el estado de sobreamortiguación la respuesta de vibración se amortigua sin oscilación. Cuando la relación de amortiguación es igual a 1, confirmamos que el estado es de amortiguación crítica. Aquí observamos que el comportamiento de los componentes oscilatorios de masa, resorte y amortiguador se asemeja al de todo el auto.

Los componentes oscilatorios de masa, resorte y amortiguador, de acuerdo con lo que se explica en el Capítulo 1, y la dinámica del auto se pueden considerar a partir de determinados conceptos abstractos como la relación de amortiguación y la frecuencia de resonancia (o frecuencia natural). Se puede observar que no existen diferencias y que se pueden considerar como sistemas oscilatorios. En otras palabras, el movimiento de un vehículo es una especie de fenómeno oscilatorio.

A modo de ejemplo, observa el Diagrama 2-3-2. La amortiguación de derrape de un auto con subviraje tiene una relación de amortiguación inferior a 1; por lo tanto, la respuesta es oscilatoria. La amortiguación de derrape de un auto con sobreviraje tiene una relación de amortiguación superior a 1; por lo tanto, la respuesta es no oscilatoria. La amortiguación de derrape de un auto con viraje neutro se encuentra en un estado crítico con una relación de amortiguación de 1, y la respuesta pasa a ser no oscilatoria. (“Amortiguación de derrape” hace referencia al efecto de amortiguación del movimiento de derrape).

# 2-4 Respuesta de un vehículo al movimiento de dirección periódico

▶ Las características de un vehículo en el diagrama de Bode

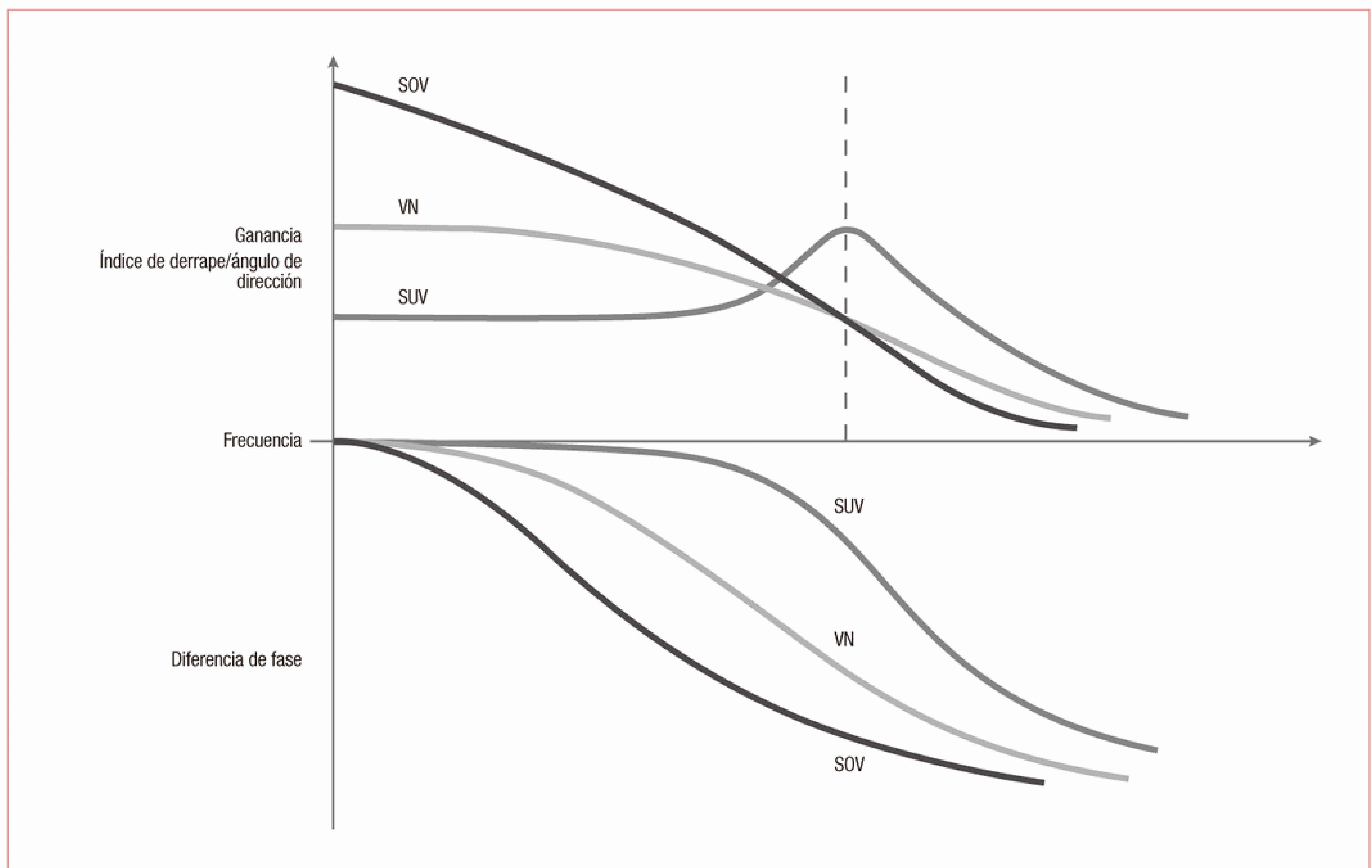
## Características de dirección y respuesta a maniobras de dirección periódicas

En la última sección, explicamos que el movimiento de los vehículos se considera como un fenómeno oscilatorio. Aquí observamos la manera en que las características de dirección influyen sobre las características generales del vehículo mediante el estudio de la respuesta de los vehículos con referencia a la teoría de la oscilación. Observaremos la manera en que un auto, que se desplaza a una velocidad estable, responde a un movimiento periódico de giro del volante de dirección y de posterior retorno a la posición neutra (recta). También cambiaremos el ritmo de accionamiento de la dirección (frecuencia de la dirección) para esta observación.

Recuerda el diagrama de Bode descrito en la sección 1-6. El Diagrama 2-4-1 es un diagrama de Bode en el que se ilustra la frecuencia de respuesta de derrape respecto del accionamiento periódico de la dirección. Cuando la frecuencia de dirección es extremadamente baja (cuando el volante de dirección se gira con mucha lentitud), la ganancia (relación de amplitud) básicamente se asemeja al índice de derrape del sobreviraje, viraje neutro y subviraje en condiciones de conducción circular constante. Cuando la frecuencia de dirección aumente, la relación de amplitud para autos con subviraje aumentará y alcanzará un pico a determinada frecuencia; también aumentará la ganancia. En el caso de los autos con viraje neutro y sobreviraje no existirán picos, y la ganancia (relación de amplitud) continuará reduciéndose a medida que aumente la frecuencia de dirección.

Si se observa el gráfico lineal de fase, el retardo en la fase se hace mayor a medida que la frecuencia de dirección aumenta para todo tipo de características de dirección. Sin embargo, el retardo en la fase es mínimo en autos con subviraje. Esto significa que un auto con características de subviraje tiene la respuesta más rápida al movimiento de la dirección.

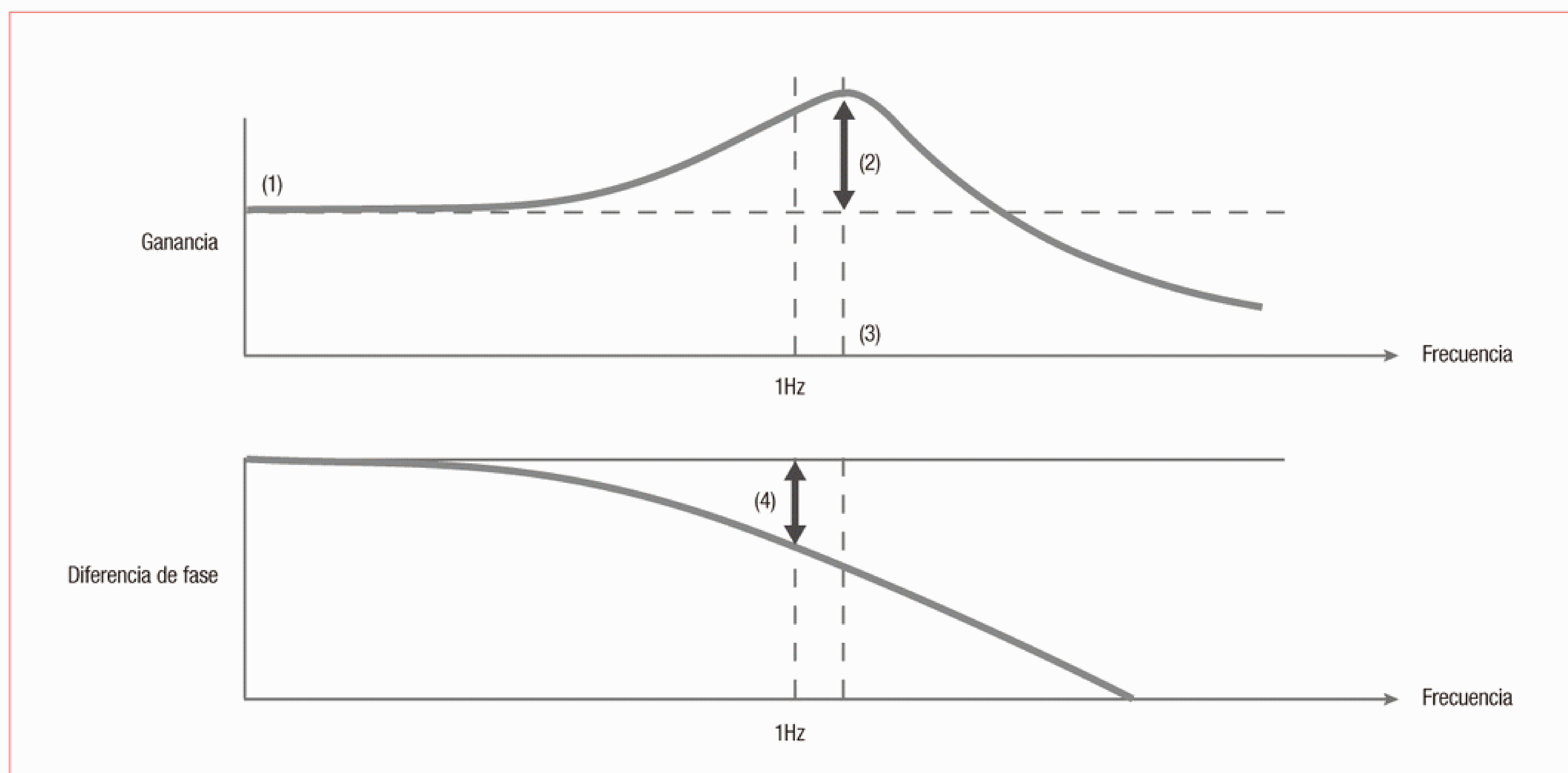
**Diagrama 2-4-1** Diagrama conceptual en el que se muestra la respuesta del índice de derrape ante maniobras de dirección periódicas para autos con diferentes características de dirección



## Cuatro puntos que se deben tener en cuenta en el Diagrama de Bode

Veamos la explicación de la manera en que el diagrama de Bode se puede implementar para usos prácticos. Se deben observar varios puntos en un diagrama de Bode. Observa la respuesta de frecuencia del índice de derrape. Lo primero que se debe considerar es la ganancia a una frecuencia muy baja (observa la referencia (1) del diagrama 2-4-2). Este valor es básicamente igual al valor en condiciones de conducción circular constante. El segundo punto a tener en cuenta es la altura del pico de ganancia (observa la referencia del diagrama 2-4-2). Los autos con subviraje pronunciado tienen una mayor resonancia debido a la reducción de la amortiguación de derrape; de esta manera, el pico de la ganancia aumenta. Sin embargo, no existen picos para las ganancias de los autos con viraje neutro y sobreviraje. Para alcanzar la característica de dirección óptima, se debe garantizar un pico de resonancia moderado. El tercer punto es la frecuencia de resonancia (observa la referencia (3) del diagrama 2-4-2). Cuanto más alta es la frecuencia de resonancia, más rápida es la respuesta, lo que significa que el piloto puede obtener una respuesta más marcada del volante de dirección. El tercer punto es la frecuencia de resonancia (observa la referencia (4) del diagrama 2-4-2). Si el retardo en la fase es grande, la generación del índice de derrape se ralentiza. Por lo tanto, minimizar el retardo en la fase es la mejor manera de obtener una respuesta de dirección más rápida.

Diagrama 2-4-2 Cuatro puntos que se deben tener en cuenta en el Diagrama de Bode



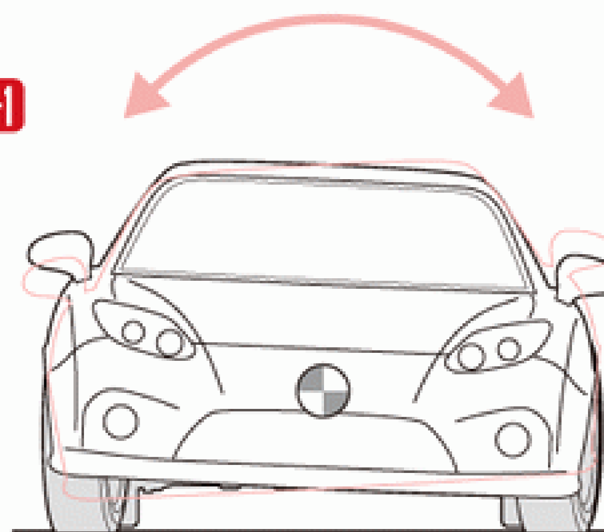



# 2-5 Inclinación de la carrocería y movimiento del vehículo

▶ Uso de la inclinación de la carrocería para ajustar las características de dirección

La carrocería de un auto se inclina hacia afuera durante el viraje. Hasta ahora hemos omitido intencionalmente los efectos de la inclinación de la carrocería para simplificar nuestras discusiones. Sin embargo, el movimiento de un vehículo se ve fuertemente afectado por inclinación de la carrocería. Analicemos los efectos de la inclinación de la carrocería con respecto al rendimiento general del vehículo.

Diagrama 2-5-1



## Efectos de la inclinación de la carrocería en las características de dirección

En el Diagrama 2-5-2, podemos observar que incluso si la carga se duplica la fuerza de viraje no se multiplica por la misma cantidad. Esto se debe a que, a medida que aumenta, existe un retorno de fuerza de viraje en disminución, que traza una curva de saturación en un gráfico. Cuando un auto vira, el peso se transfiere de la rueda interior a la exterior. La suma de la fuerza de viraje de las ruedas interior y exterior se vuelve menor cuando la transferencia de peso se considera en comparación con la suma sin transferencia de peso. En otras palabras, cuanto mayores sean las magnitudes de transferencia de peso, menores serán las magnitudes de fuerza de viraje.

**Diagrama 2-5-2 Relación entre la carga de los neumáticos y la potencia de viraje. La carga y la potencia de viraje no tienen una relación proporcional; por lo tanto, aun cuando la carga se duplique, la potencia no lo hará**

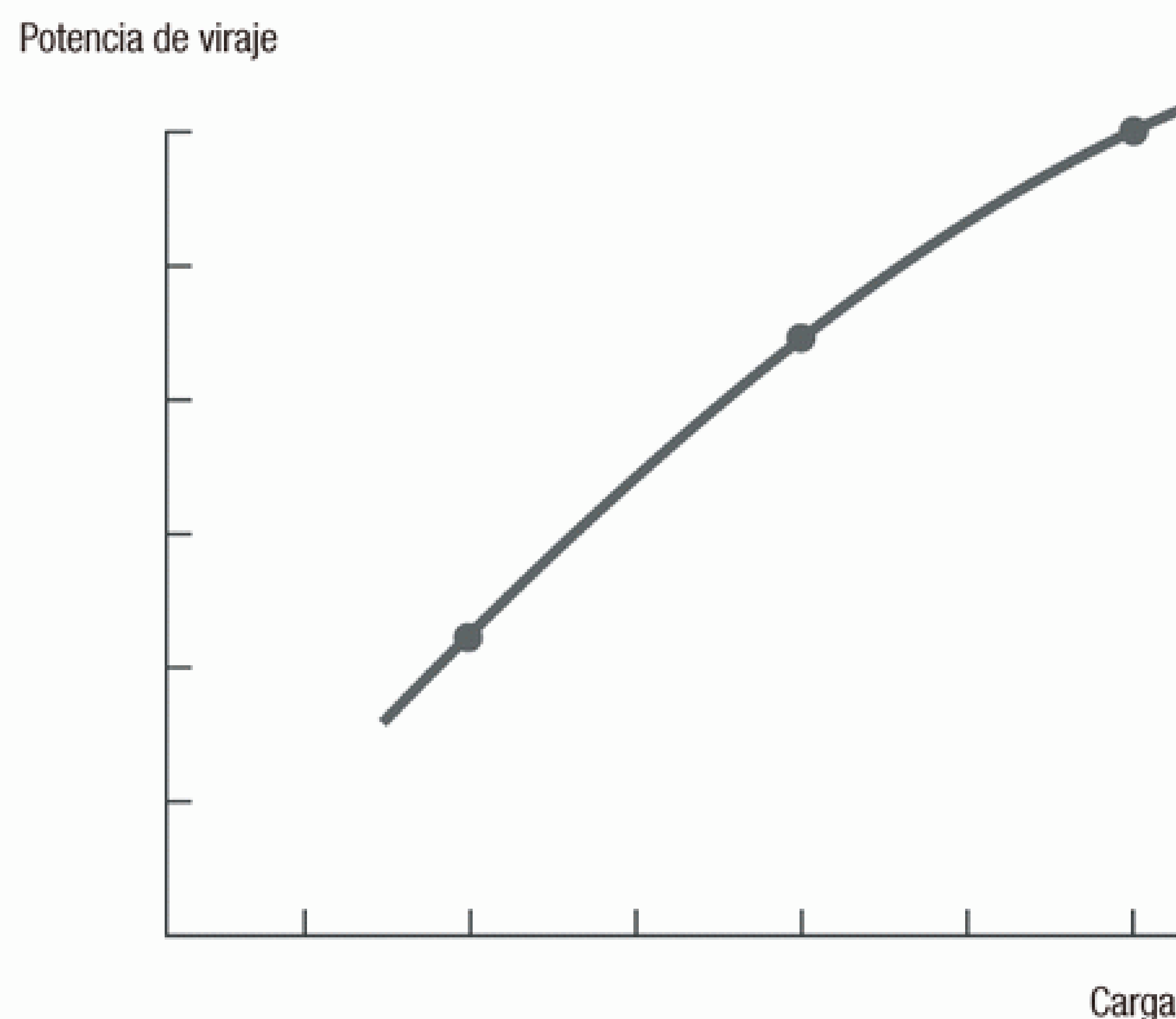
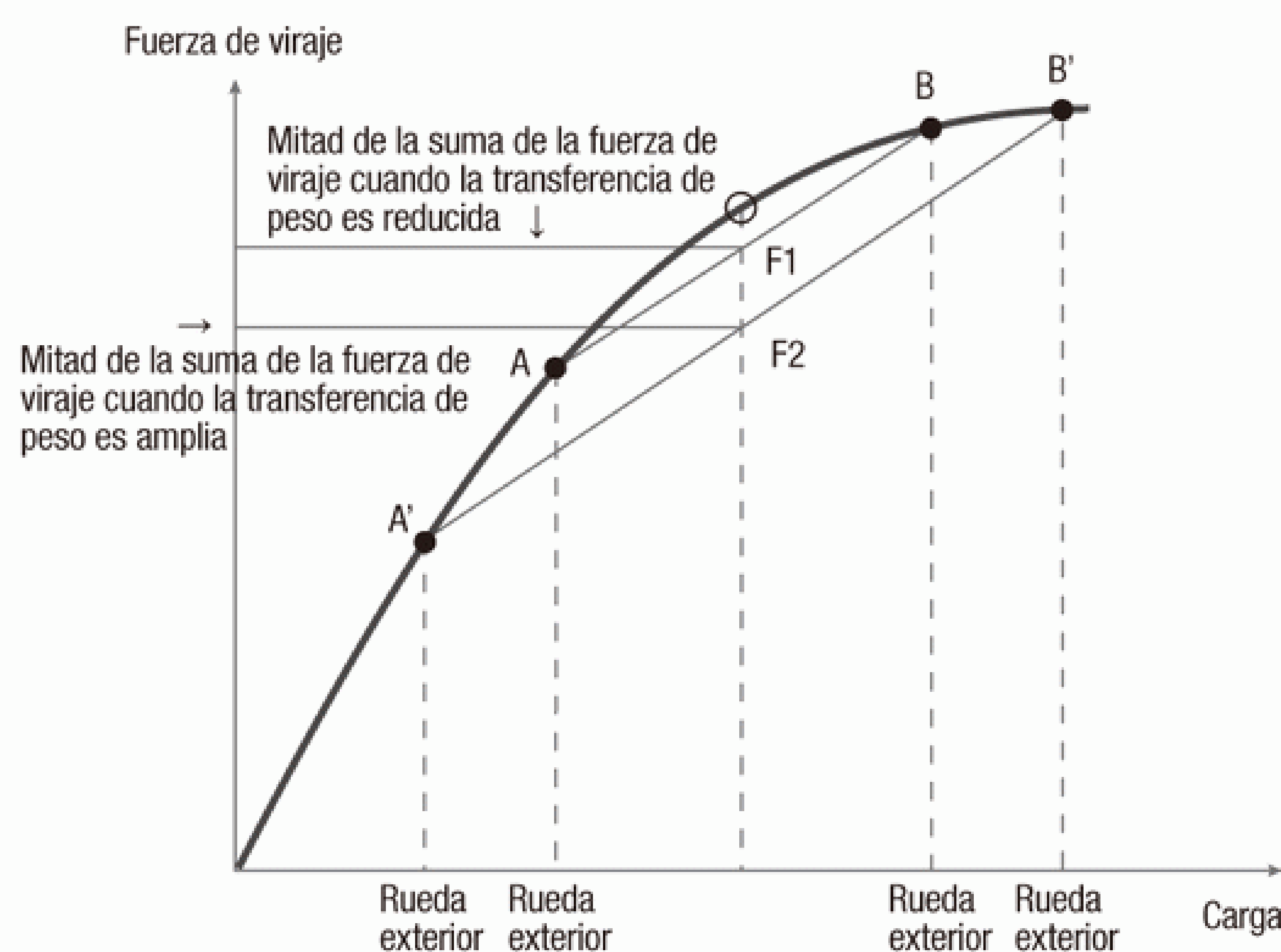



**Diagrama 2-5-3 Comparación entre un auto con una transferencia de peso grande y uno con una transferencia de peso menor. En un auto con una transferencia de peso menor, la fuerza de viraje F1 equivale a la mitad de la suma de la rueda interior A y la rueda exterior B. Para un auto con una mayor transferencia de peso, la fuerza de viraje F2 equivale a la mitad de la suma de A' y B'. Un auto con menos transferencia de peso tiene una fuerza de viraje total mayor**



## Características de la dirección cuando la transferencia de carga es diferente en la parte delantera y trasera

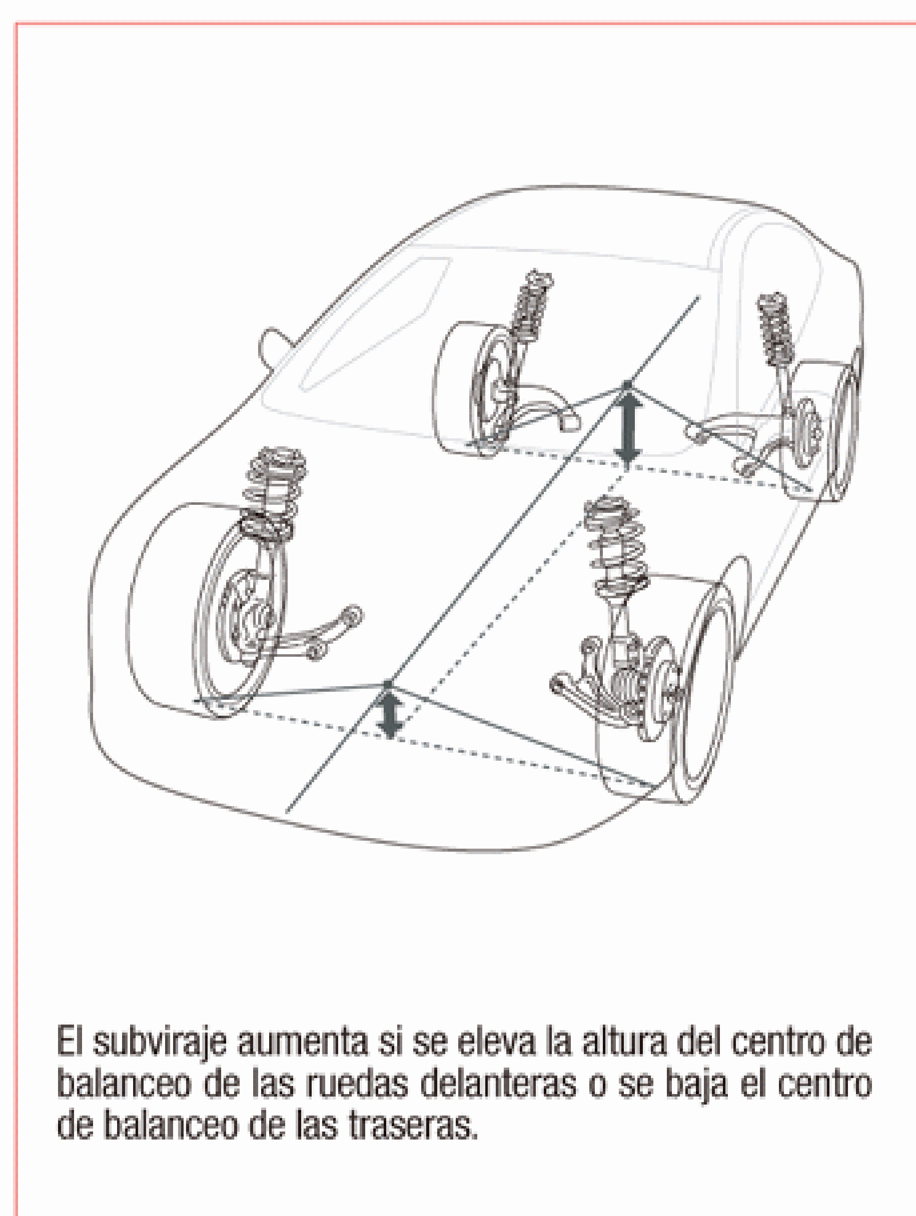
Debido a que la generación de fuerza de viraje de los neumáticos cambia en relación con la carga vertical en modo de saturación, si la transferencia de peso por inclinación de la carrocería es diferente entre los neumáticos delanteros y traseros, las características de viraje serán diferentes. Si la "transferencia de peso en los neumáticos delanteros > transferencia de peso en los neumáticos traseros", el auto experimentará subviraje. Si la "transferencia de peso en los neumáticos delanteros < transferencia de peso en los neumáticos traseros", el auto experimentará sobreviraje.

La magnitud de transferencia de peso entre el lado derecho y el izquierdo se define a través del equilibrio del "efecto de la fuerza externa relacionado con la inclinación de la carrocería" y el "efecto de la rigidez de inclinación del auto que reacciona". Esta relación se ve principalmente determinada por la altura del centro de balanceo delantero, la relación de rigidez de balanceo y el ancho de vía. Sin entrar en demasiados detalles, la altura del centro de balanceo se relaciona con el momento que se crea a partir de la fuerza lateral del neumático, la relación de rigidez de balanceo se relaciona con la distribución delantera y trasera del momento a partir de la fuerza externa, y la pista se relaciona con el momento que se crea a partir de la transferencia de peso. La magnitud de transferencia de peso se ve determinada por estas relaciones, lo que contribuye a aclarar los efectos de la inclinación de la carrocería en las características de dirección, como se resume en el cuadro 2-5-1.

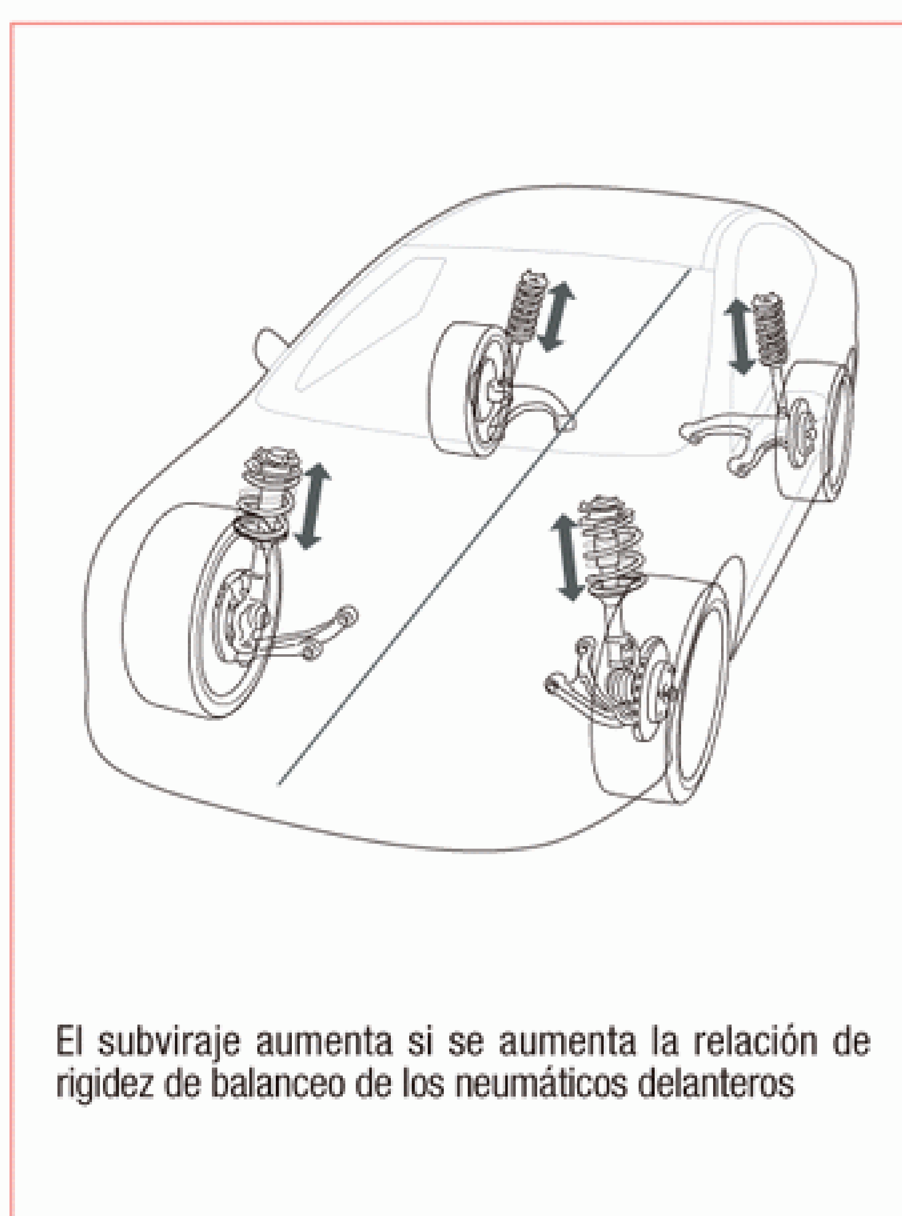
**Cuadro 2-5-1** Cambio de las características de dirección y modificación de la suspensión

| | SUV | SOV |
|---|---|---|
| Centro de balanceo - Rueda delantera | Alta | Baja |
| Centro de balanceo - Rueda delantera | Baja | Alta |
| Relación de rigidez de balanceo | Amplia | Reducida |
| Banda de rodamiento - Delantera | Reducida | Amplia |
| Banda de rodamiento - Trasera | Amplia | Reducida |

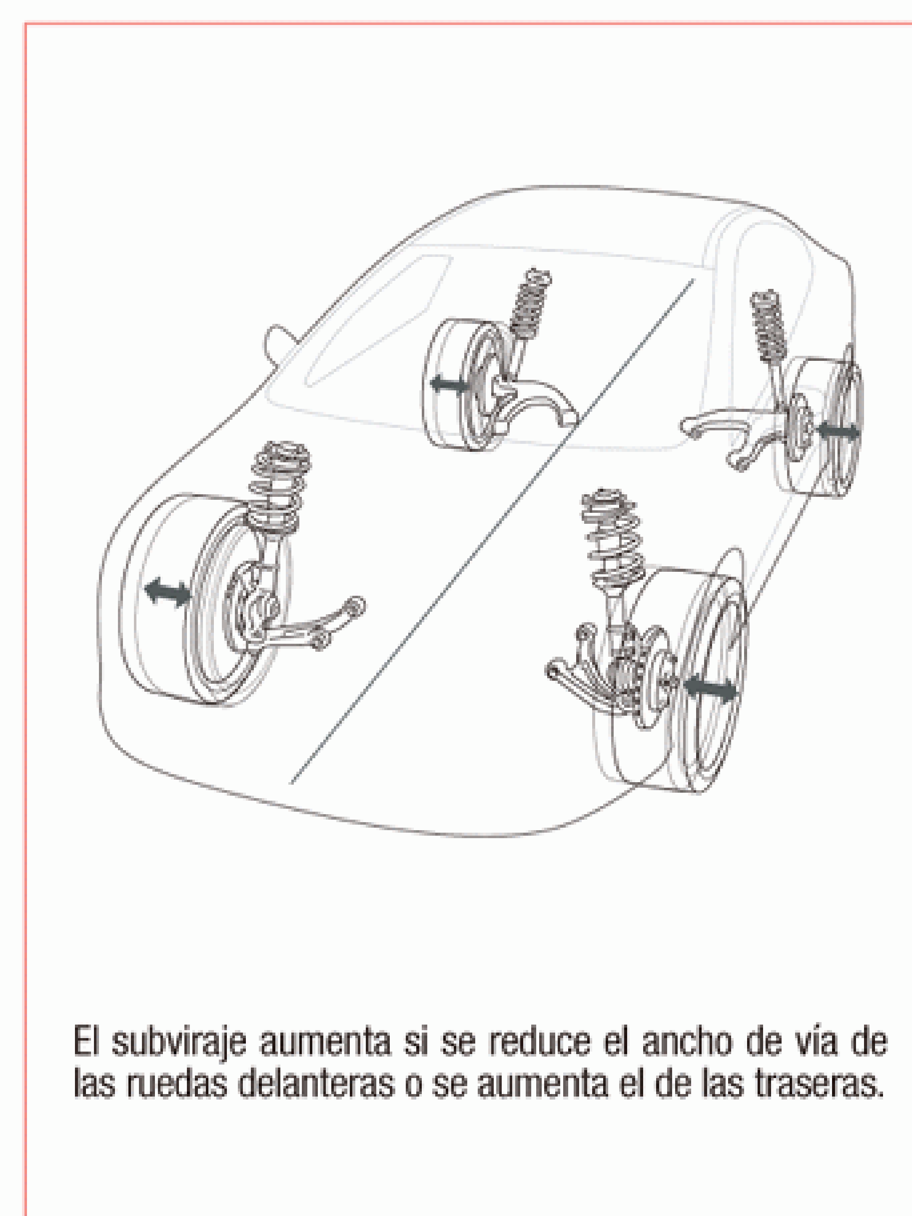
**Diagrama 2-5-4**



El subviraje aumenta si se eleva la altura del centro de balanceo de las ruedas delanteras o se baja el centro de balanceo de las traseras.



El subviraje aumenta si se aumenta la relación de rigidez de balanceo de los neumáticos delanteros



El subviraje aumenta si se reduce el ancho de vía de las ruedas delanteras o se aumenta el de las traseras.

# 2-6 Vibración de la masa suspendida y no suspendida

▶ Una teoría que no se debe ignorar para la modificación de una suspensión

La vibración vertical tiene un efecto directo en la comodidad de manejo de un auto y en la capacidad de agarre del neumático a la carretera. La vibración intensa puede volver intolerable el manejo e incluso afectar la capacidad de agarre del neumático a la carretera hasta el punto en que se pierda tracción. Para evitar tracción, el resorte y los amortiguadores de la suspensión se deben modificar cuidadosamente. Esta sección servirá como introducción a los aspectos básicos de la vibración vertical, un tema fundamental para la modificación de una suspensión.

## Modo de vibración

El término "masa suspendida" hace referencia a la masa total que soporta la suspensión, mientras que "masa no suspendida" hace referencia a la masa total entre la suspensión y los neumáticos. Aquí hacemos hincapié en la vibración de rebote y cabeceo de la masa suspendida y en la vibración de la masa no suspendida.

El Diagrama 2-6-1 es una ilustración simplificada de la vibración con las ruedas delanteras y traseras como soporte de todo del auto. En este modelo, la dirección de desplazamiento de la masa suspendida es ascendente o descendente (dos direcciones en total). La dirección de desplazamiento de la masa no suspendida también es ascendente o descendente (dos direcciones en total). Por lo tanto, existen cuatro direcciones de desplazamiento, cuatro grados de libertad, lo que significa que existen cuatro frecuencias naturales. La resonancia primaria es la resonancia de rebote, que representa la vibración que se produce en la masa suspendida delantera y trasera (las partes delantera y trasera se expanden y contraen simultáneamente). La resonancia secundaria es la resonancia de cabeceo, por cuya acción la masa suspendida delantera y trasera vibran en direcciones opuestas (cuando la parte delantera se expande la trasera se contrae, y cuando la delantera se contrae la trasera se expande). Se producen casos de resonancia terciaria y cuaternaria en la masa no suspendida.

**Diagrama 2-6-1** **Modelo de vibración simplificado con la carrocería soportada por las ruedas delanteras y traseras. Existen cuatro direcciones de desplazamiento**

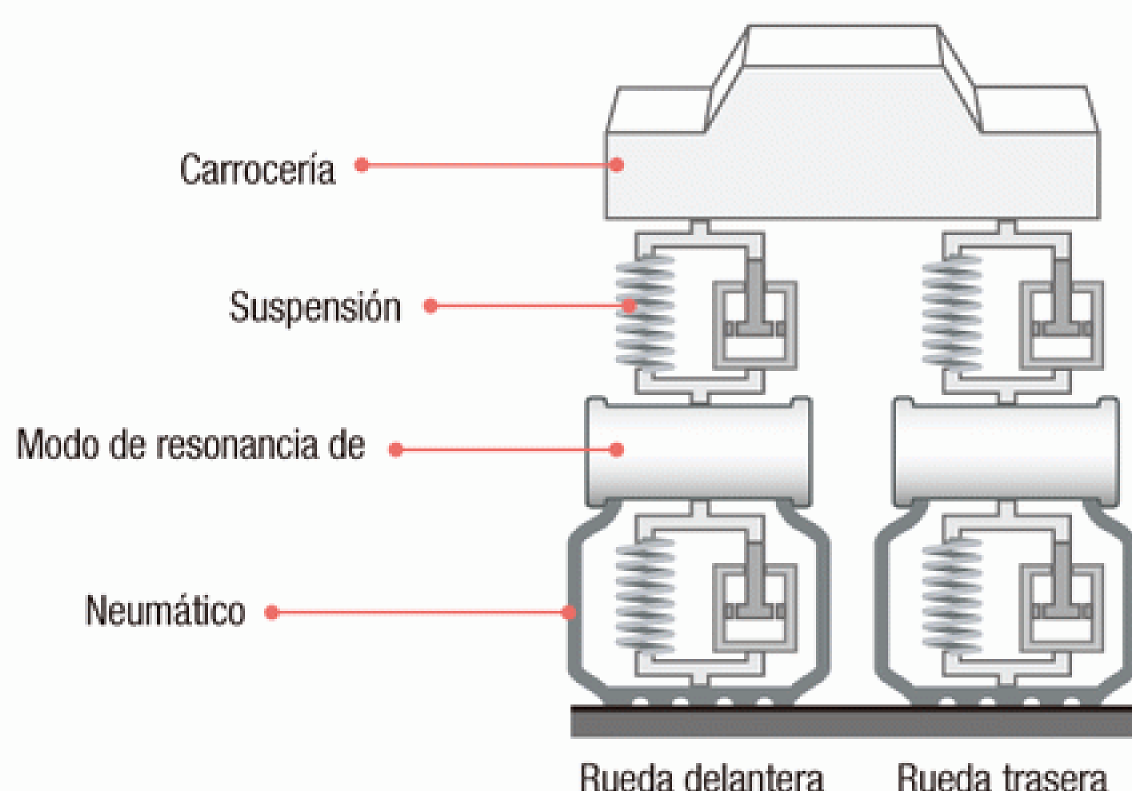
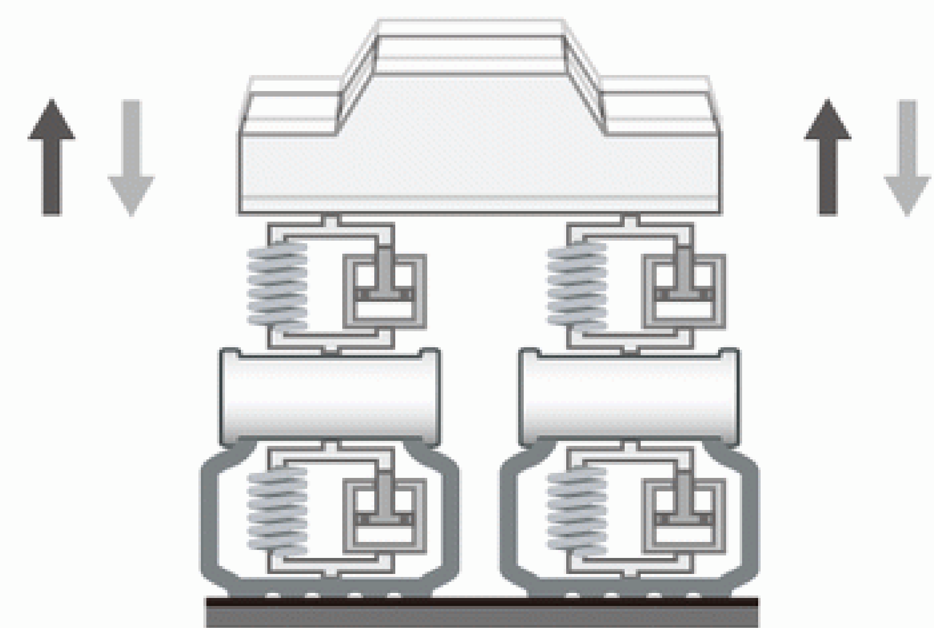
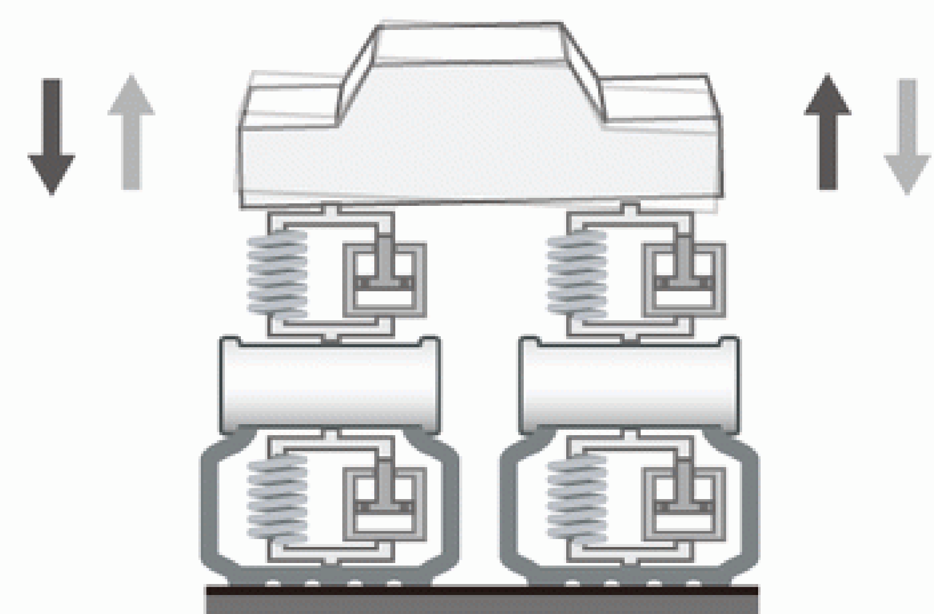



**Diagrama 2-6-2** **Modo de vibración**

**Resonancia primaria:** Modo de rebote. La suspensión delantera y trasera se expande y contrae en la misma dirección simultáneamente para hacer rebotar la carrocería.



**Resonancia secundaria:** Modo de cabeceo. La suspensión delantera y trasera se expande y contrae en direcciones opuestas, lo que induce movimiento de cabeceo en la carrocería.



**Resonancias terciaria y cuaternaria:** Modos de resonancia de masa no suspendida

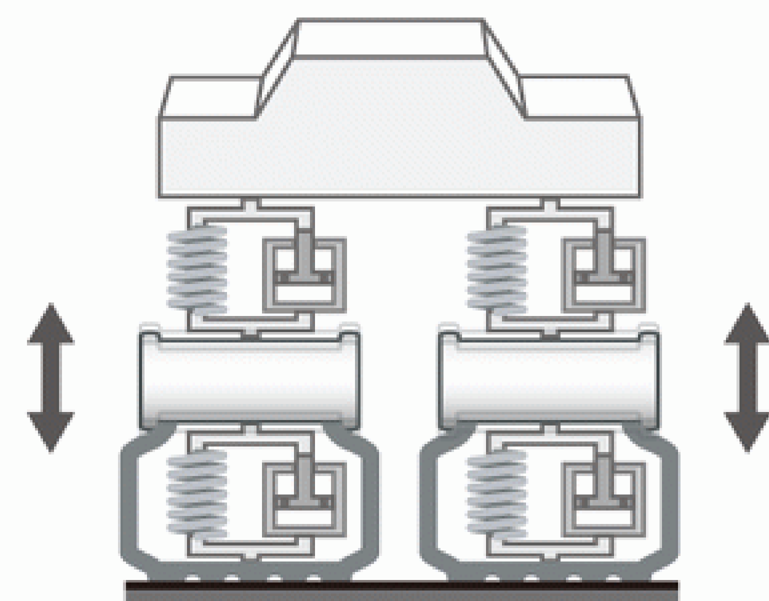
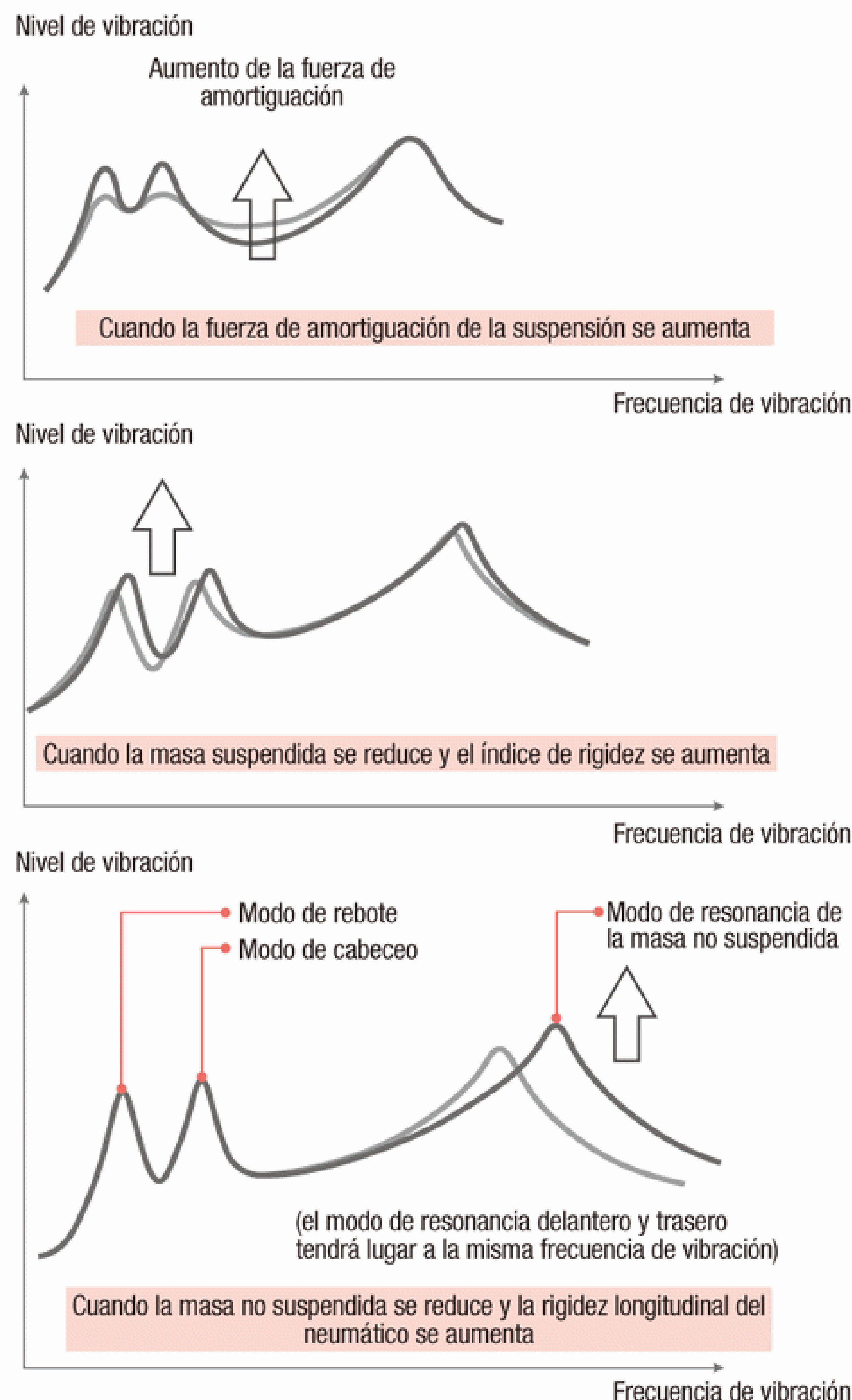


Diagrama 2-6-3

**Influencia del algoritmo de suspensión en la vibración vertical**




## La modificación de la suspensión y sus efectos en el modo de vibración

La vibración de la carrocería tiene un efecto negativo en el agarre del neumático a la carretera y en la comodidad de manejo en general; por lo tanto, se debe minimizar tanto como sea posible. La vibración de la masa suspendida también afecta el rendimiento aerodinámico, en especial en los vehículos de competición.

Se debe tener en cuenta que la vibración de la masa suspendida y no suspendida tiene las características siguientes.

**1) El aumento de la fuerza de amortiguación permitirá reducir la vibración de la masa suspendida respecto de la frecuencia de resonancia; sin embargo, aumentará la vibración en otras áreas. (Observa el gráfico superior del Diagrama 2-6-3).**

**2) El aumento de la fuerza de amortiguación también aumentará la frecuencia de resonancia de la masa suspendida. (Observa el gráfico superior del Diagrama 2-6-3).**

**3) La modificación de la masa suspendida o del índice de rigidez afectará la resonancia de la masa suspendida, pero tendrá poca influencia en la resonancia de la masa no suspendida. (Observa el gráfico intermedio del Diagrama 2-6-3).**

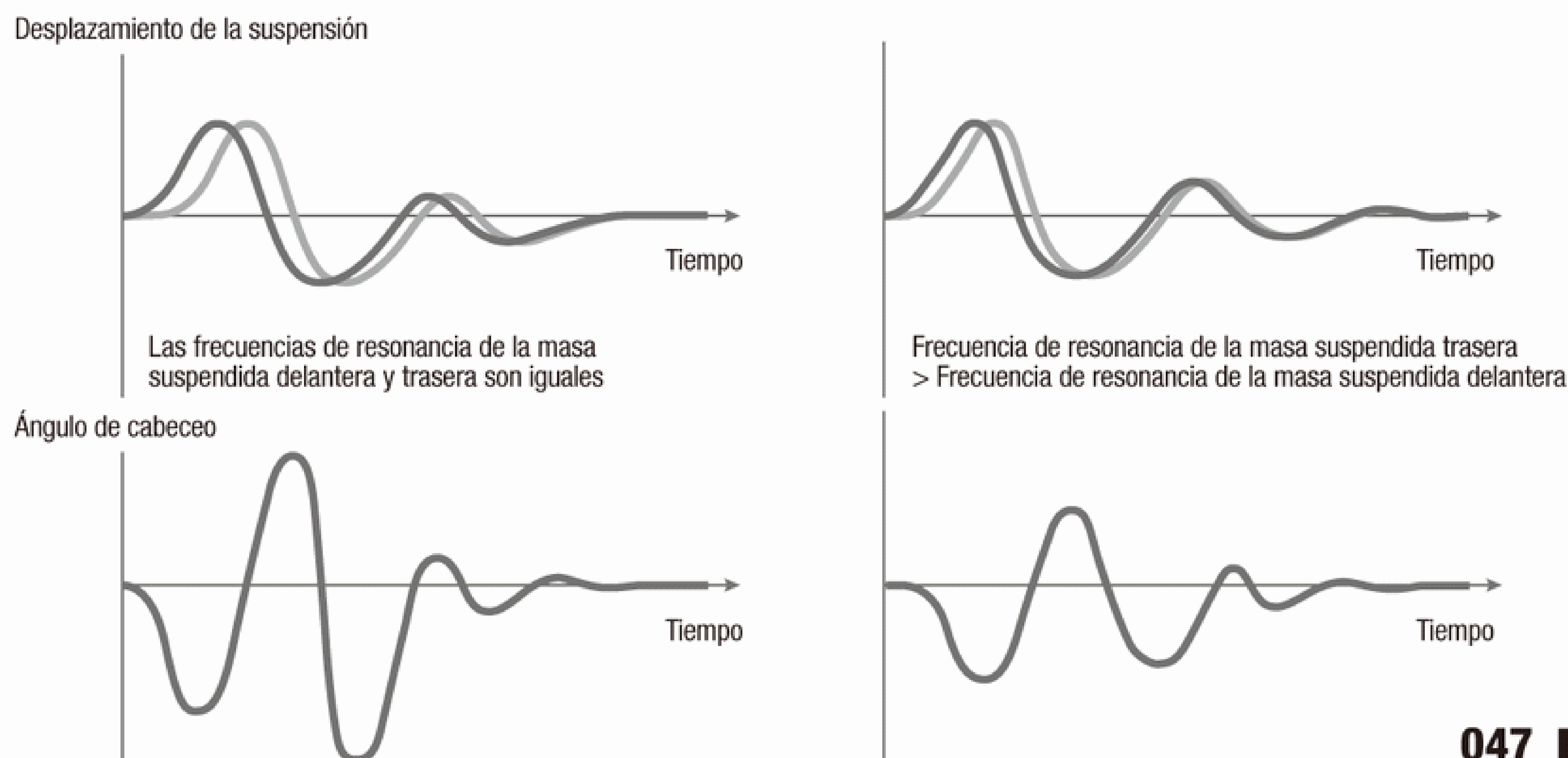
**4) La modificación de la masa no suspendida o de la rigidez longitudinal del neumático afectará la resonancia de la masa no suspendida, pero tendrá poca influencia en la vibración de la masa suspendida. (Observa el gráfico inferior del Diagrama 2-6-3).**

## Control de cabeceo

Cuando se conduce un auto en una línea recta, la respuesta de la superficie de la carretera a la rueda trasera demorará un tiempo que deriva de la “distancia entre ejes y la velocidad del vehículo”. Si la frecuencia de resonancia de la masa suspendida de las ruedas traseras se configura con un valor que supere levemente la de las ruedas delanteras, la vibración de las ruedas traseras equipara la vibración de las ruedas delanteras y converge con ella, lo que permite minimizar el cabeceo.

Diagrama 2-6-4

**Control del movimiento de cabeceo. El cabeceo se puede minimizar al incrementar la frecuencia de resonancia de la masa suspendida trasera.**



# 2-7 ¿De qué se constituye un auto de alto rendimiento?

▶ El rendimiento de un vehículo se encuentra en las ruedas traseras

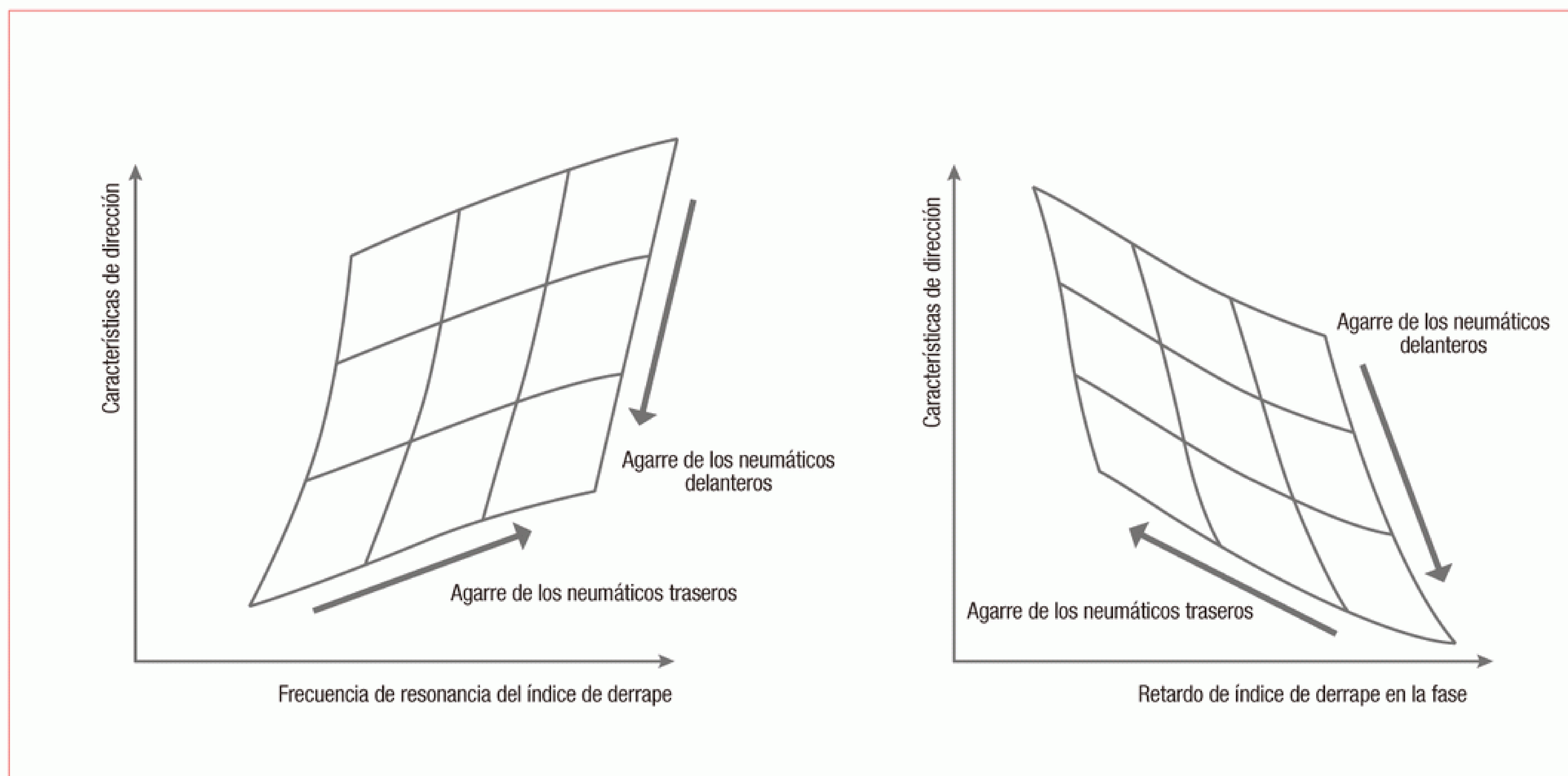
## Frecuencia de resonancia del índice de derrape y características de dirección

En general, si la frecuencia de resonancia del índice de derrape es alta, la respuesta del auto debe ser rápida y se debe considerar como un vehículo de alto rendimiento. El mejoramiento de la potencia de viraje de los neumáticos traseros o la modificación del peso del auto para que sea más liviano son ejemplos de la manera en que la frecuencia de resonancia del índice de derrape se puede aumentar.

En el Diagrama 2-7-1 se ilustra la manera en que el agarre de los neumáticos delanteros y traseros puede afectar el rendimiento general del vehículo. A partir de este diagrama, se puede observar que el aumento del agarre de los neumáticos traseros aumentará el subviraje y la frecuencia de resonancia del índice de derrape. De manera inversa, el aumento del agarre de los neumáticos delanteros reducirá la frecuencia de resonancia del índice de derrape y profundizará el sobreviraje. Por el contrario, la disminución del agarre de los neumáticos traseros reducirá el retardo en la fase y, al mismo tiempo, el aumento del agarre de los neumáticos delanteros aumentará dicho retardo.

Como se ilustró anteriormente, el nivel de agarre de los neumáticos traseros tiene un efecto considerable en el rendimiento general del vehículo. Si se modifica el sistema de suspensión, primero se debe garantizar que el nivel de agarre de los neumáticos traseros sea suficiente. Entonces, el nivel de agarre de los neumáticos delanteros y traseros debería quedar bien equilibrado. Estos pasos se deben comprender, ya que son aspectos fundamentales del aumento de rendimiento de un vehículo.

**Diagrama 2-7-1** Correlación entre el agarre de los neumáticos, la respuesta de dirección y las características de dirección



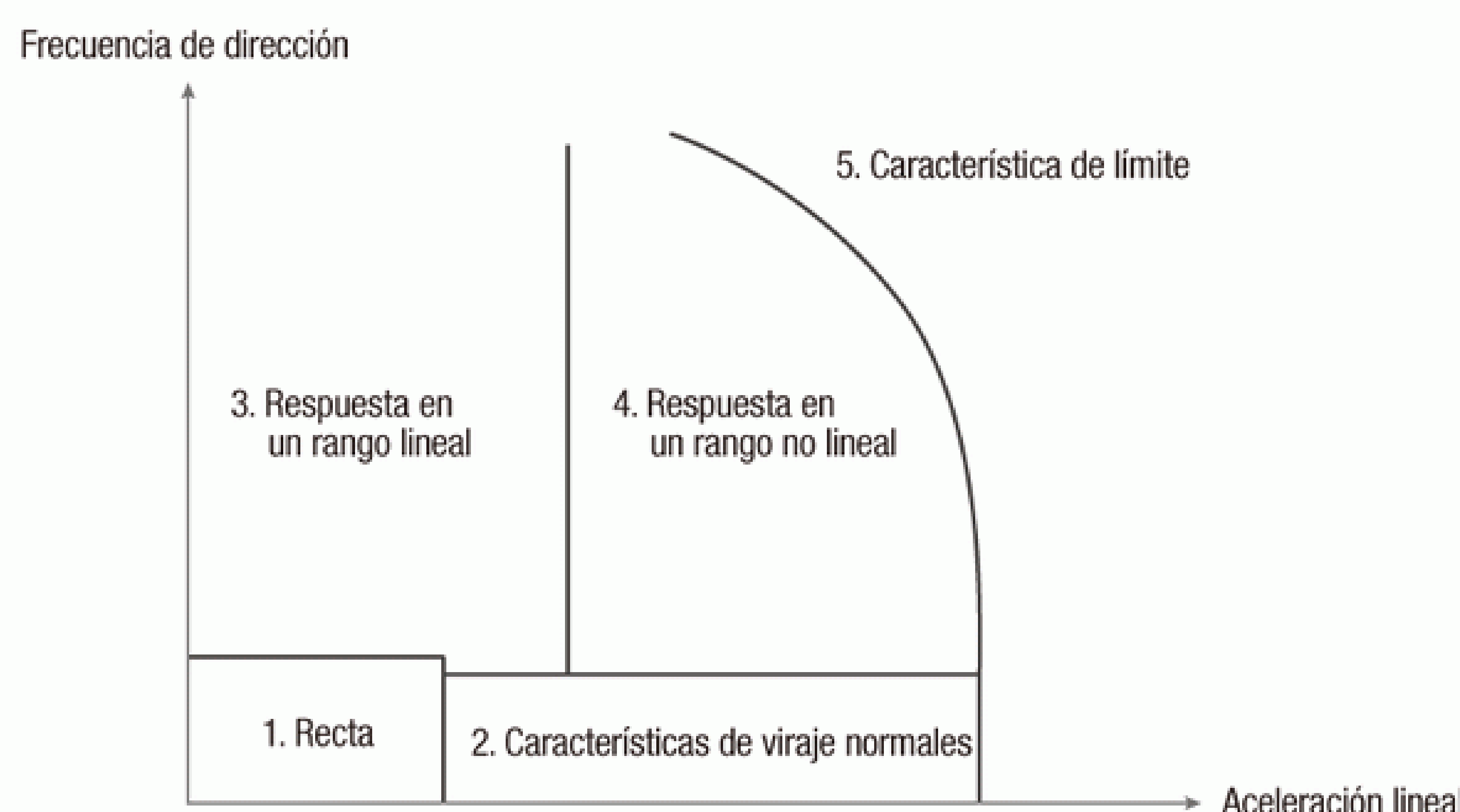

**CONSEJOS** Si el momento de inercia de derrape del vehículo puede recibir el formato $I=mK^2$, el radio de inercia de derrape se puede mostrar como $K=\sqrt{I/M}$. La "I" representa aquí el momento de inercia de derrape, mientras que la "m" representa la masa del vehículo.

## Cómo categorizar la respuesta del vehículo

La respuesta de los vehículos es un asunto complejo; sin embargo, si concebimos el movimiento de los vehículos como una ecuación de movimiento (como se explica en 1-1), podemos comenzar a entender mejor el tema. Además, podemos usar los conceptos de aceleración lateral y frecuencia de dirección para categorizar las características de movimiento de un vehículo, como se muestra en el Diagrama 2-7-2.

Hasta ahora, hemos centrado nuestro examen de la respuesta según (2) características de viraje normal, en un (3) rango lineal. En esta instancia, el rango lineal es una comprensión hipotética de una situación en la que la potencia de viraje es estable, sin importar la situación de desplazamiento. Por otra parte, la respuesta en un (4) rango no lineal se relaciona con una situación en la que la potencia de viraje se satura. Este rango es de particular importancia para los autos de carreras. Sin embargo, aun cuando se observa un rango no lineal, se aplican las características básicas de un rango lineal, por lo que si tenemos en cuenta adecuadamente la fuerza de viraje y los momentos de las ruedas delanteras y traseras, se puede aplicar como el del rango lineal. A su vez, lo mejor es posicionar el (5) rango de características de límite lo más lejos posible del punto de partida.

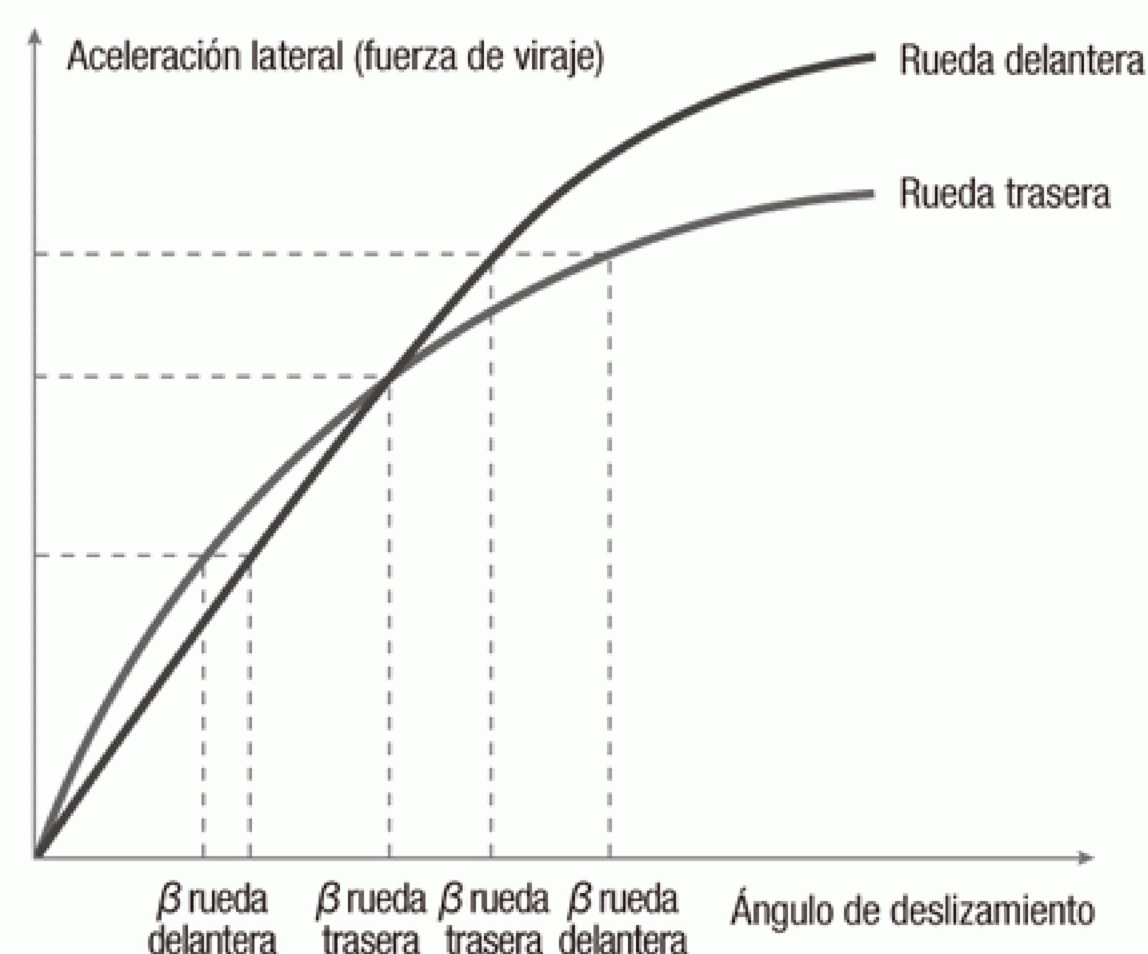
**Diagrama 2-7-2 Categoría de las características de movimiento de un vehículo**




**CONSEJOS** Un ejemplo muy estandarizado del movimiento de rango no lineal de un vehículo se denomina “dirección inversa”. Anteriormente se explicó, en la sección 1-2, que se podrían determinar las características de dirección según el grado de ángulo de deslizamiento a partir de los virajes normales del vehículo. En esta ocasión, veamos qué es la dirección inversa al utilizar un vehículo con las características que se muestran en el Diagrama 2-7-3.

Cuando vehículos con características similares realizan virajes normales y la aceleración lateral es lenta, el ángulo de deslizamiento de las ruedas delanteras se vuelve mayor y las características de subviraje de los vehículos se manifiestan. Sin embargo, a medida que la aceleración lateral aumenta, los neumáticos deben producir una fuerza suficientemente grande como para equilibrarse con ella, con lo que el ángulo de deslizamiento aumenta y la fuerza de viraje ingresa en el rango de saturación. Esto hace que aumente el ángulo de deslizamiento de las ruedas traseras a medida que la aceleración lateral aumente hasta cierto punto, lo que hace que el vehículo exhiba características de sobreviraje y así el movimiento sea inestable. Esta situación, en la que las características de dirección cambian según la aceleración lateral, se denomina “dirección inversa”.

**Diagrama 2-7-3**



# 3-1 Temperatura y presión

## ▶ El movimiento molecular genera temperatura y presión

En la actualidad, sabemos que el calor, la temperatura y la presión se generan por movimiento molecular. Este conocimiento recién vio la luz en el siglo XIX y solo se aceptó como teoría comprobada en el siglo XX. Para comprender de manera correcta la pérdida de eficacia y energía de los motores y la aeromecánica (hidromecánica), que veremos posteriormente, se debe primero aprender acerca del movimiento molecular relacionado con la temperatura y la presión.

### Actividad molecular errática en un espacio cerrado

Visualicemos un gas encerrado en un recipiente sellado. Una observación macroscópica relacionada con el gas dentro del recipiente sería que la temperatura y la presión son estables. Esto se denomina "estado de equilibrio". Sin embargo, desde una perspectiva microscópica, existen innumerables moléculas de gas que se mueven dentro del recipiente en forma errática. Una molécula se puede mover a una velocidad muy reducida, mientras que otra se puede mover a una velocidad extremadamente alta. Tales moléculas chocan entre sí y contra las paredes del recipiente, y sus velocidades cambian a medida que se mueven.

**Diagrama 3-1-1** Gas dentro de un recipiente sellado en un estado de equilibrio

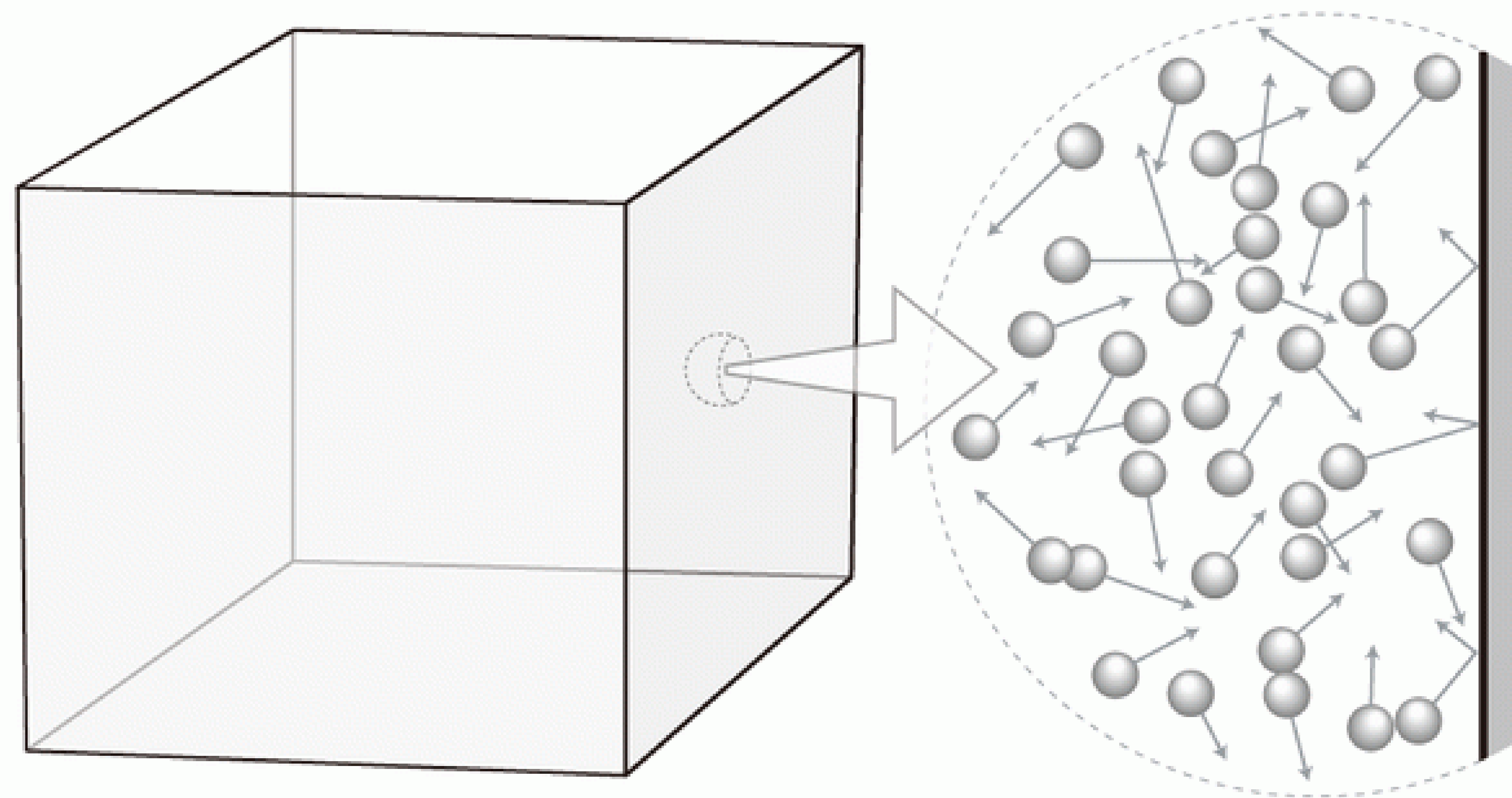


Diagrama 3-1-2 **La constante de Boltzmann vincula la medición de la mecánica y la termodinámica**




## La temperatura es una medición numérica de la energía cinética promedio de cada molécula

Dentro del recipiente, existen incontables moléculas de gas que se mueven a varias velocidades. Desde la perspectiva de la energía, las moléculas de gas tienen varios niveles de energía cinética. La temperatura es, de hecho, la medición numérica de la energía cinética promedio de cada molécula que se mueve en forma errática a varias velocidades. Se puede expresar en forma matemática como a continuación.

**Energía cinética promedio por molécula = 3/2 kT**

"T" es la temperatura absoluta y "k" la constante de Boltzmann. Es una constante proporcional que no se ve afectada por la temperatura, densidad, presión, cantidad o clase de gas. Esta ecuación vincula la medición mecánica de la energía cinética con la medición térmica de la temperatura, pero la constante de Boltzmann es lo que actúa como una conexión importante entre las mediciones mecánicas y térmicas.

## La presión es el valor promedio de fuerza de las moléculas en movimiento

Si observamos nuevamente el Diagrama 3-1-1, las moléculas de gas chocan continuamente con las paredes del recipiente. Algunas moléculas se mueven a altas velocidades mientras que otras podrían moverse muy lentamente. Algunas moléculas pueden chocar en sentido vertical respecto de la pared y algunas con un ángulo determinado. Por lo tanto, cada molécula tiene una fuerza de impacto diferente.

Sin embargo, cuando se mide la presión, lo que en verdad se hace es derivar una fuerza de impacto promedio del conjunto de moléculas que se mueven en forma errática. Es importante observar que en un estado de equilibrio la fuerza de impacto y la presión promedio serán las mismas sin importar la dirección o el punto de medición. En otras palabras, aunque las moléculas se muevan en forma errática y a varias velocidades, desde una perspectiva macroscópica, la fuerza de impacto se dispersa de igual manera en todas las direcciones.

Diagrama 3-1-3 **La presión es el valor promedio de fuerza de las moléculas en movimiento**

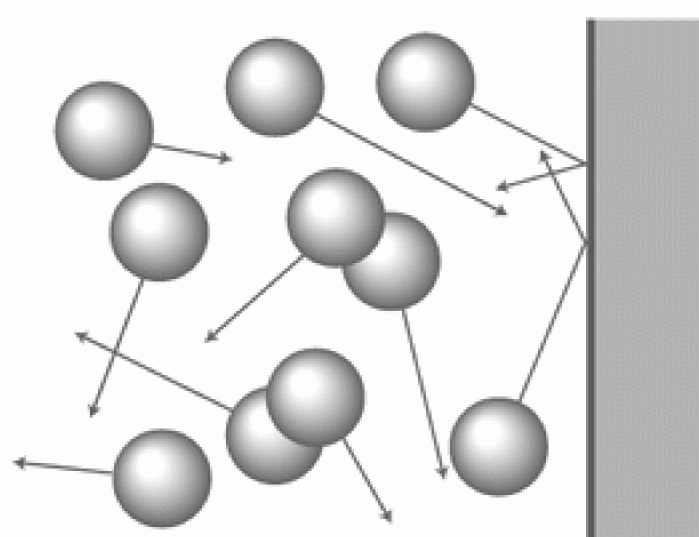
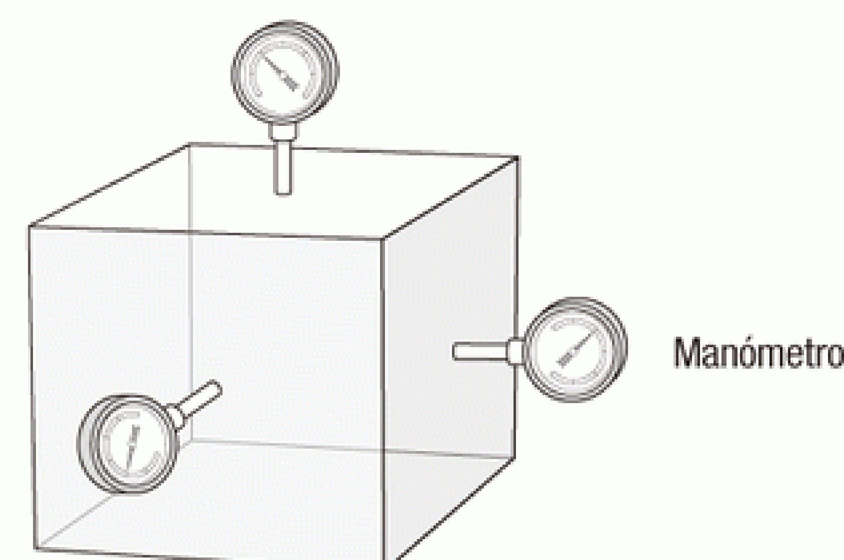


Diagrama 3-1-4 **En un estado de equilibrio, el valor de presión es constante en todas las direcciones**



# 3-2 El motor térmico ideal

## ▶ Eliminar transferencias térmicas poco económicas: el Ciclo de Carnot

El motor es una máquina que convierte la energía térmica en un tipo de energía mecánica deseado. ¿Qué determina la eficiencia de conversión cuando la energía térmica se convierte en energía mecánica? La primera persona que arrojó luz sobre esto fue el ingeniero y físico francés Sadi Carnot. En el siglo XIX, Carnot pudo formar una idea de lo que debería ser la eficiencia ideal de un motor térmico ideal y de cómo dicha eficiencia se determinaría a través de la lógica. La conclusión de Carnot fue fundamental para el desarrollo posterior del motor térmico.



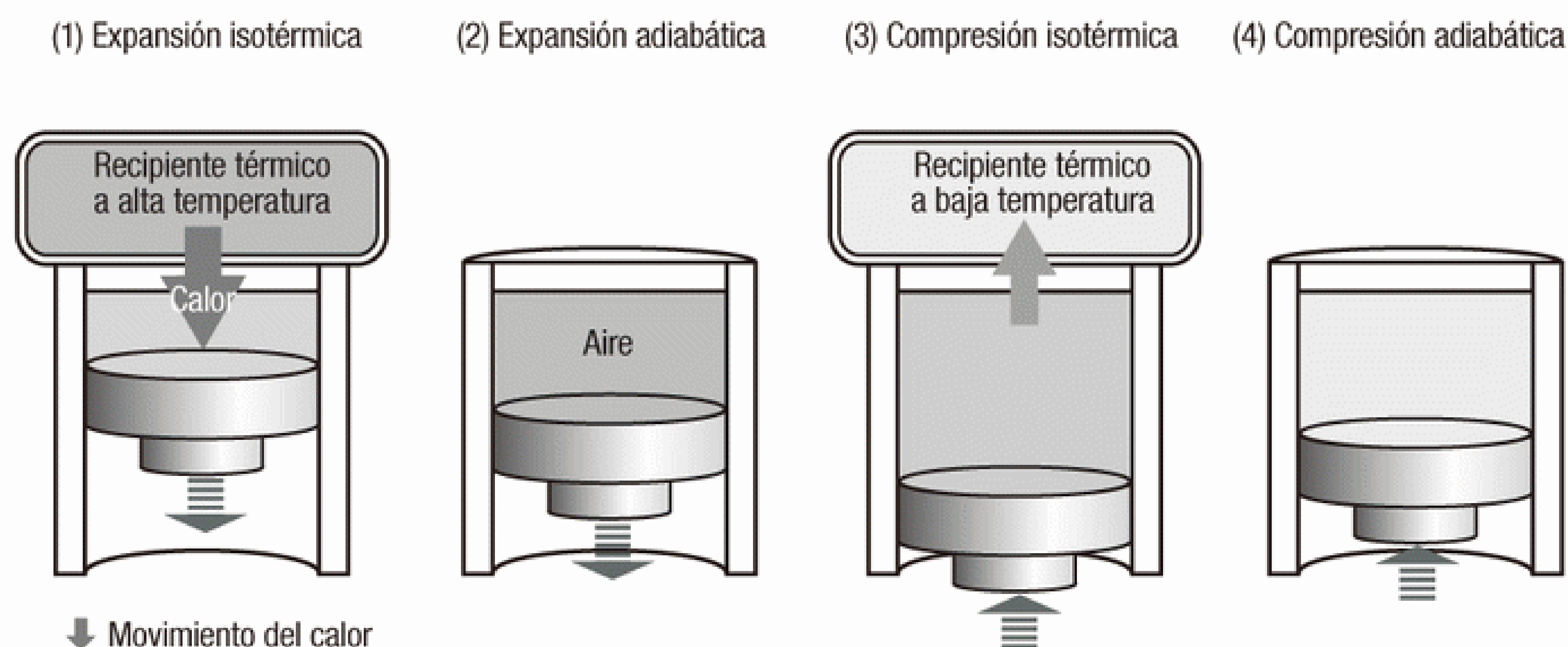
Nicolas Léonard Sadi Carnot (1796-1832)

### Las dos propiedades de Carnot

Cuando Carnot se dispuso a comprender el motor térmico ideal, centró su atención en dos propiedades. En primer lugar, para que el motor térmico funcionara, debían existir diferencias de temperatura. Sin tales diferencias de temperatura, la transferencia térmica no existiría y el motor térmico no funcionaría. Sin embargo, si existiera una diferencia de temperatura innecesaria dentro del motor térmico después del trabajo, produciría una transferencia térmica poco económica. Por lo tanto, Carnot comprendió que, respecto del trabajo (energía), un motor térmico ideal sería el que no depende de la transferencia térmica.

La segunda propiedad en la que nos centramos fue el hecho de que si se permite que el volumen de material cambie, la transferencia térmica se producirá sin que cambie la temperatura del material. Esto se denomina “cambio isotérmico”. Carnot pensó que si se utilizaba el cambio isotérmico, se podía generar energía sin ocasionar una transferencia térmica innecesaria. De acuerdo con estas consideraciones preliminares, Carnot ideó un concepto innovador de ciclo termodinámico que no involucrara una transferencia térmica poco económica debido a diferencias innecesarias de temperatura.

**Diagrama 3-2-1** **Proceso del Ciclo de Carnot**



## Ciclo de Carnot

Para observar con claridad la verdadera naturaleza del calor, Carnot imaginó un motor de aire que constaba de un recipiente térmico a alta y baja temperatura, un cilindro cerrado con aire y un pistón. Permitiendo que el cilindro entrara en contacto con el recipiente térmico, pudo examinar las propiedades de transferencia térmica y obtener un ciclo termodinámico ideal. El ciclo termodinámico que inventó se muestra en el Diagrama 3-2-1 y el Diagrama 3-2-2.

1) Al permitir que el cilindro entre en contacto con el recipiente térmico a alta temperatura, se transfiere calor del recipiente al cilindro, lo que expande el aire dentro del cilindro. Sin embargo, se deben evitar las diferencias de temperatura; por ello, en este punto, las temperaturas del recipiente térmico y del aire dentro del cilindro se deben mantener en el mismo nivel. A su vez, la temperatura del aire también debe ser estable. Para lograrlo, el aire se debe expandir en forma lenta y gradual. La expansión o compresión del gas mediante una temperatura controlada constante se denomina "cambio isotérmico".

2) A continuación, el cilindro expandido debe entrar en contacto con el recipiente térmico a baja temperatura. Sin embargo, esto crearía una diferencia de temperatura. Para evitar esto, Carnot aplicó primero un cambio adiabático en el punto en que la compresión aumenta la temperatura y la expansión la reduce. Carnot se dio cuenta de que el aire expandido por el recipiente térmico a alta temperatura se puede expandir más aplicando un cambio adiabático, lo que, por consiguiente, disminuye la temperatura del aire sin transferencia térmica. Ten en cuenta que este proceso exige que el pistón se mueva con mucha lentitud.

3) Cuando la temperatura del aire en el interior se reduce hasta alcanzar el valor del recipiente térmico a baja temperatura, el cilindro entra en contacto con el recipiente, lo que transfiere el calor del aire al recipiente y al mismo tiempo comprime el aire. Una vez más, las diferencias de temperatura se deben evitar, por lo que el calor se transfiere en forma lenta y gradual a través del cambio isotérmico.

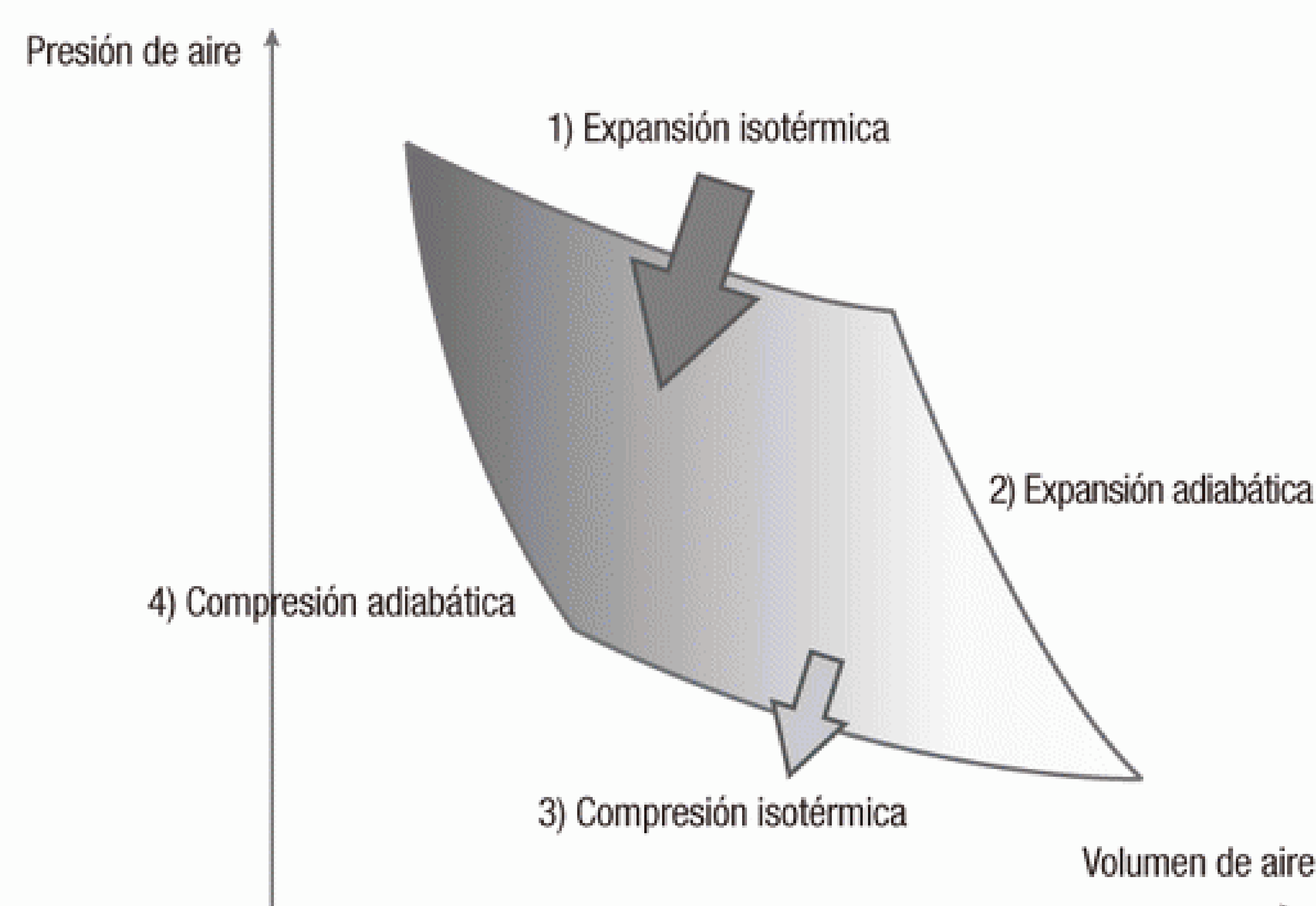
4) Después del cambio isotérmico, el aire se comprime y aplica el cambio adiabático para aumentar la temperatura. Cuando el aire se comprime para que su temperatura equipare la del recipiente térmico a alta temperatura, el proceso puede regresar a la expansión isotérmica descrita en (1) para que se repita el ciclo.

Como se observó arriba, al completar el ciclo de (1) expansión isotérmica del recipiente térmico a alta temperatura, (2) enfriamiento a través de la expansión adiabática, (3) compresión isotérmica del recipiente térmico a baja temperatura y (4) calentamiento a través de la compresión adiabática, el aire del cilindro regresa a su estado original y el calor se convierte en energía sin transferencias térmicas innecesarias. Este ciclo termodinámico, que recibe el nombre de su descubridor, se denomina "Ciclo de Carnot".

Cincuenta años después del fallecimiento de Carnot, nació el primer vehículo equipado con un motor de gasolina. En la imagen se muestra un vehículo de 3 ruedas hecho por Karl Benz.



Diagrama 3-2-2 **Cambio de presión y volumen de aire en el Ciclo de Carnot**



# 3-3 Conclusión de Carnot

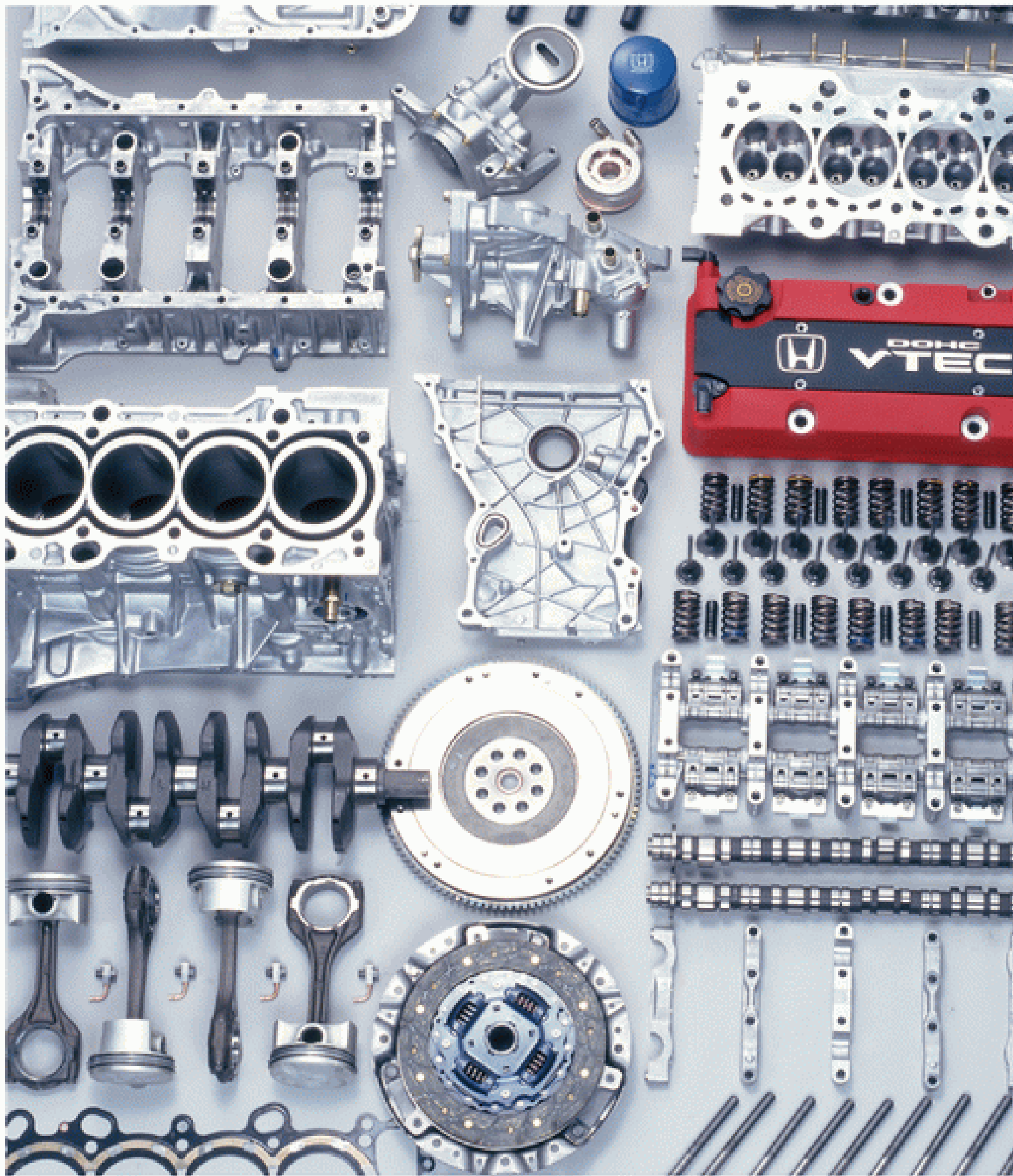
## ▶ Abstracción sorprendente del motor térmico

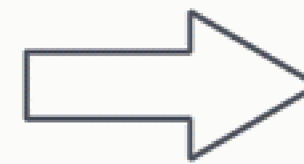
### Solo dos temperaturas del recipiente térmico determinan la eficacia

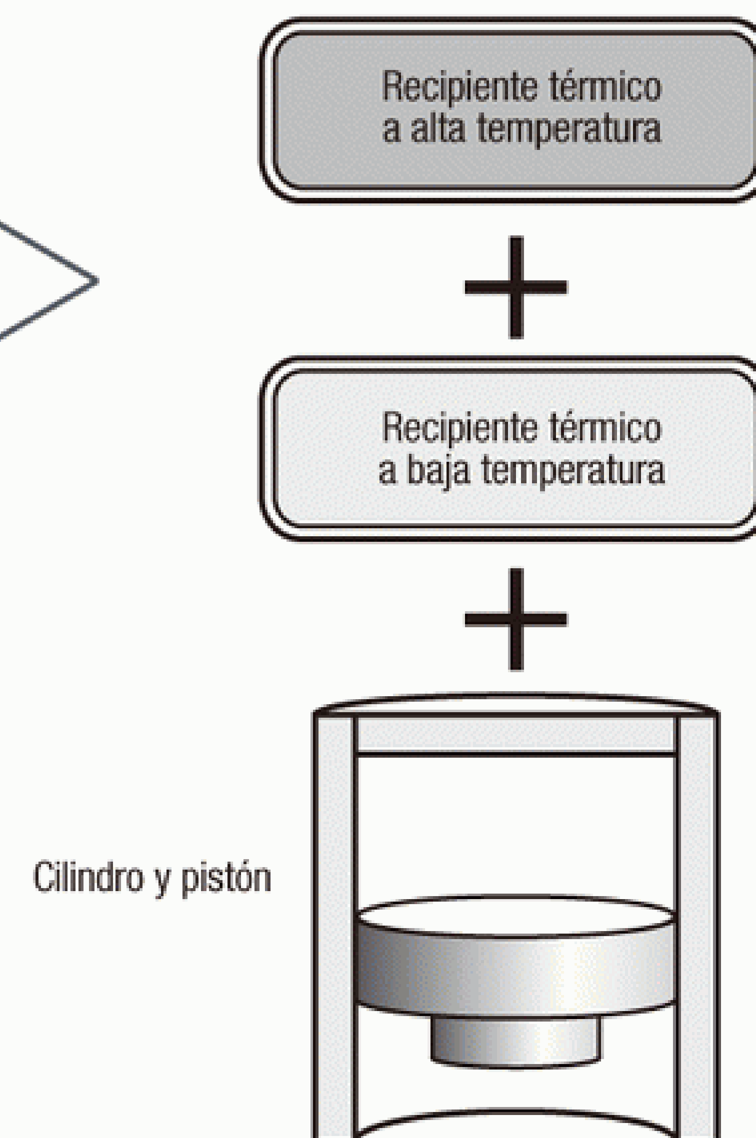
Hasta aquí, resulta normal creer que el Ciclo de Carnot es el ciclo termodinámico más eficiente para un motor térmico. Sin embargo, Carnot sobresalió porque utilizó la lógica sensata para llegar a la conclusión de que, con el Ciclo de Carnot, dos temperaturas diferentes entrarían en contacto dentro de un cilindro; por esta razón, su ciclo termodinámico en verdad corresponde a un motor ideal. Lo que resulta aún más sorprendente es que Carnot concluyó que la eficiencia del ciclo termodinámico solo se ve determinada por las temperaturas altas y bajas del recipiente térmico. Carnot incluyó esto en una fórmula, pero en años posteriores, el ingeniero inglés William Thompson creó la siguiente expresión matemática.

Temperatura del recipiente térmico a baja temperatura
Eficiencia ideal del Ciclo de Carnot $= 1 - \dfrac{\text{Temp. del recip. a baja temp.}}{\text{Temp. del recip. a alta temp.}}$

**Diagrama 3-3-1** **En el motor térmico de Carnot se identifican con precisión los principales componentes en relación solo con el calor y la potencia de un sistema de motor térmico complejo que consta de muchos factores y crea con éxito un modelo abstracto de motor térmico.**






Carnot no se desconcertó con el hecho de que los motores se construyen intrincadamente con varias piezas, sino que aplicó el Ciclo de Carnot a la eficiencia térmica y postuló la teoría de que las temperaturas altas y bajas del recipiente térmico eran los únicos factores que determinaban la eficiencia. (En la imagen se muestra un motor de gasolina V8 biturbo de la marca BMW)

## La abstracción más sorprendente del motor térmico

La relación entre la eficiencia teórica del Ciclo de Carnot, del recipiente térmico y de la temperatura se ha aclarado, pero la conclusión a la que llegó Carnot también deja entrever un aspecto de ingeniería muy interesante. Como se muestra en la fórmula de arriba, la eficiencia teórica del Ciclo de Carnot se determina únicamente a través de las diferencias de temperatura del recipiente térmico, y ni la estructura del motor ni el vapor u otras sustancias derivadas participan. En otras palabras, el Ciclo de Carnot se ve determinado únicamente por causas naturales y no por la confección de un motor.

En el motor térmico de Carnot se identifican con precisión los principales componentes en relación solo con el calor y la potencia de un sistema de motor térmico complejo que consta de muchos factores y crea con éxito un modelo abstracto de motor térmico. Nada se omitió y todo lo necesario se encuentra allí. Es, dicho de una manera, una forma de abstracción absoluta.

**CONSEJOS** En el año 1824, Carnot publicó un ensayo técnico titulado "Reflexiones sobre la potencia motriz del fuego", en el que detalló el Ciclo de Carnot. El motivo fue el deseo generar mejoras al terreno de los motores de vapor desde el punto de vista de la ingeniería.

Por entonces, los motores de vapor se utilizaban mucho y también se habían mejorado de manera uniforme hasta el punto en que embarcaciones de vapor habían cruzado con éxito el Atlántico cinco años antes del ensayo de Carnot. Sin embargo, casi no se aportaban ideas orientadas al razonamiento científico respecto del motor de vapor. De esta manera, las mejoras dependían únicamente de la experiencia y las "conjeturas" de los mecánicos. Carnot decidió estudiar la relación entre el motor térmico y las causas naturales, y no lo que ocurría con la estructura, el mecanismo o los objetos de trabajo de su motor.

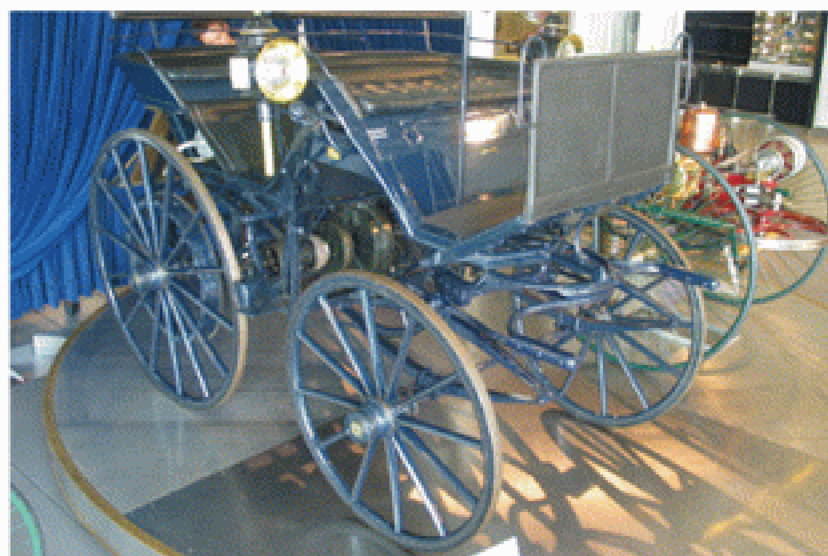
La importancia de la contribución de Carnot no se reconoció de inmediato. Para sumar inconvenientes al infortunio, en 1832, mientras Carnot realizaba una investigación sobre el cólera, contrajo la enfermedad y murió a la corta edad de 36 años. Como se acostumbraba por entonces cuando una persona moría de cólera, la mayoría de los resultados y papeles de las investigaciones de Carnot fueron destruidos tras su deceso.

Sin embargo, aun después de la desaparición de Carnot, sus ideas fueron complementadas por uno de sus compañeros de clase, Clapeyron. Esto llevó a un amplio reconocimiento de las teorías de Carnot y contribuyó a que se lo considerara como un pionero de campos nuevos como la termodinámica y la mecánica estadística.

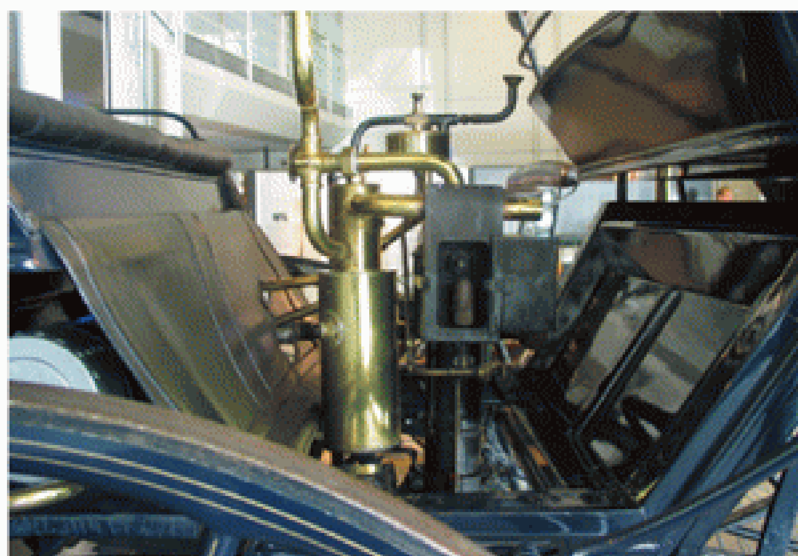


RÉFLEXIONS
PUISSANCE MOTRICE
DU FEU
SUR LES MACHINES
Par S. CARNOT,
A PARIS,

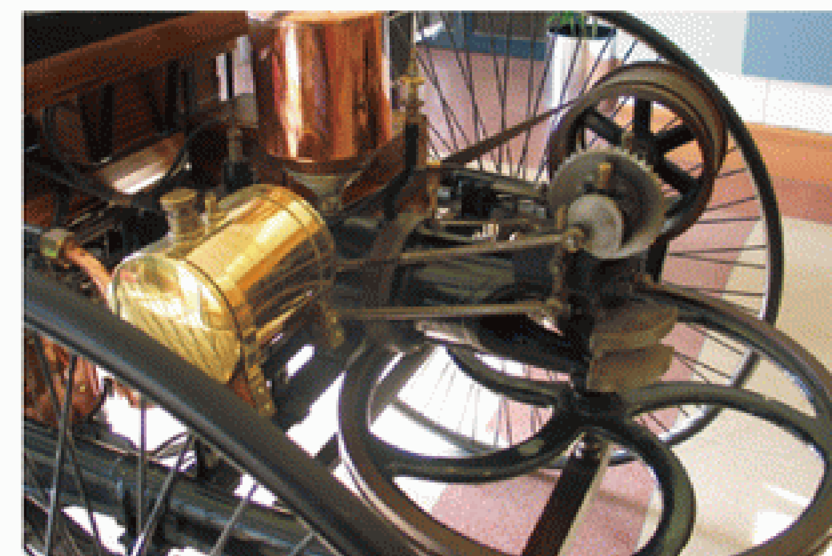
**CONSEJOS** Ten en cuenta que William Thompson, el hombre que trasladó la eficiencia teórica del Ciclo de Carnot a una fórmula matemática, definió la temperatura absoluta mediante la derivación de la eficiencia teórica del Ciclo de Carnot.



Un vehículo de 4 ruedas construido en 1886 por Gottlieb Daimler



El motor de gasolina del vehículo de 4 ruedas de Daimler, con una cilindrada de 462 cc, 680 r. p. m. y 1,1 ps



La sección del motor del vehículo de 3 ruedas de Karl Benz mencionado previamente. En el motor de Daimler la disposición del cilindro era vertical y en este horizontal. Cilindrada de 984 cc, 400 r. p. m. y 0,96 ps

# 3-4 Eficiencia teórica de los motores de autos

▶ Investigación de las eficiencias teóricas del Ciclo de Otto y el Ciclo de Diesel

## Ciclo de Carnot

Ahora que conocemos qué constituye un motor térmico ideal, veamos un motor de auto estándar. Los motores de gasolina actuales se basan en el motor de cuatro tiempos o ciclos (Ciclo de Otto) inventado por Nikolaus Otto. Los cuatro procesos del Ciclo de Otto son (1) la compresión adiabática, (2) la adición de calor isovolumétrico, (3) la expansión adiabática y (4) el rechazo de calor isovolumétrico. La adición y el rechazo de calor isovolumétrico hacen referencia al calentamiento y enfriamiento de la sustancia de trabajo dentro del cilindro sin cambiar el volumen del cilindro.

Al igual que con el Ciclo de Carnot, la manera en que se obtiene la máxima eficiencia del Ciclo de Otto se puede ilustrar utilizando un motor de aire con recipientes de alta y baja temperatura, y moviendo los pistones muy lentamente. Sin embargo, con el Ciclo de Otto, el desequilibrio de temperatura durante los ciclos isovolumétricos (2) y (4) no se puede evitar. Debido a que el ciclo de Otto no incluye un cambio isotérmico, no puede existir transferencia térmica del recipiente térmico a alta temperatura al aire ni del aire al recipiente térmico a baja temperatura sin una diferencia de temperatura que ocasione una transferencia térmica poco económica. Así, esta transferencia térmica hace que el Ciclo de Otto sea relativamente reducido en comparación con el Ciclo de Carnot.

La eficiencia térmica teórica del Ciclo de Otto se representa matemáticamente de la siguiente manera:

$$\text{Eficiencia teórica del Ciclo de Otto} = 1 - \frac{1}{\text{Compresión}^{\text{Índice de calor específico} - 1}}$$

Como se muestra en la fórmula, la eficiencia teórica del Ciclo de Otto difiere de la del Ciclo de Carnot. Se ve determinada por el mecanismo del motor y las características de la sustancia de trabajo respecto de la compresión y el índice de calor específico, aunque no existen límites respecto de qué mecanismo se debe utilizar para la compresión o qué sustancias de trabajo se deben utilizar específicamente. Aunque el motor tiene muchas variables y mecanismos sofisticados, el índice de compresión y el índice de calor específico determinan la eficiencia teórica del motor.

**Diagrama 3-4-1 Procesos del Ciclo de Otto**

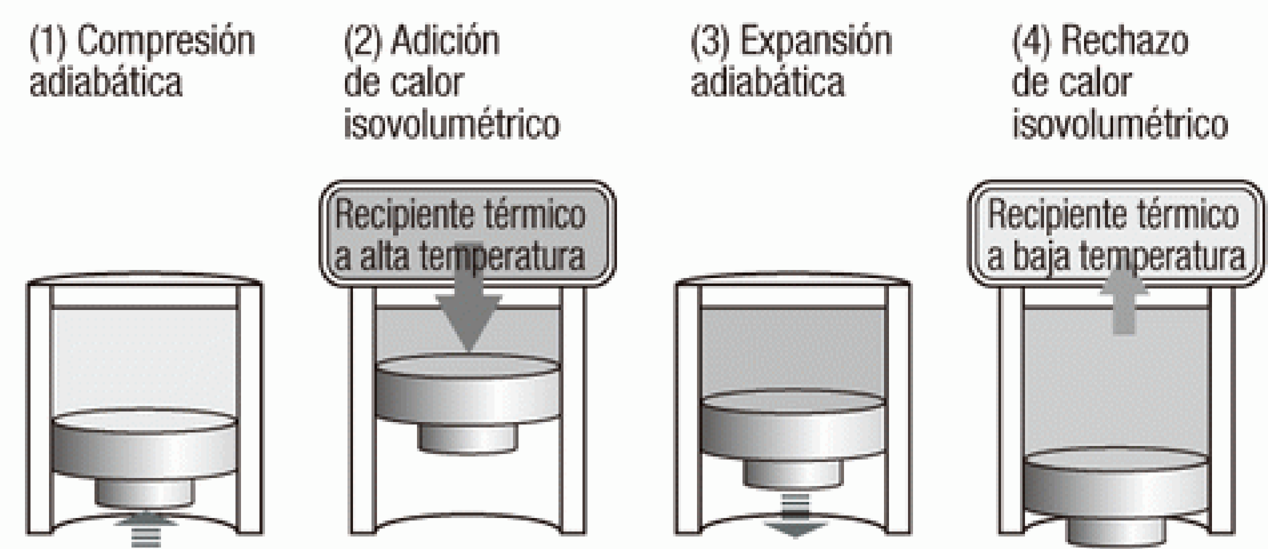
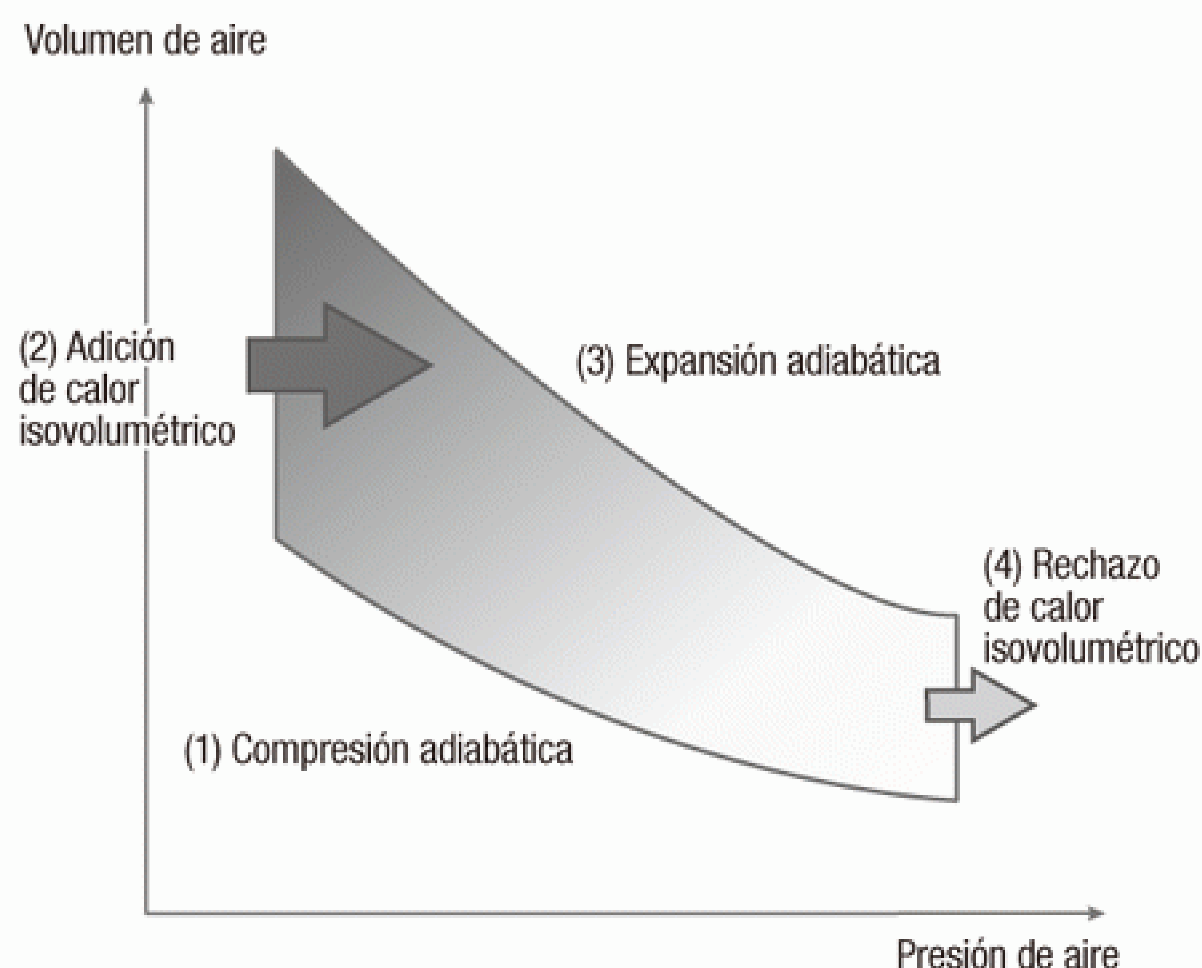



**Diagrama 3-4-2 Cambio de presión y volumen de aire en el Ciclo de Otto**




Ejemplo del Ciclo de Otto. Motor de gasolina V8 biturbo marca BMW




**CONSEJOS** El ciclo termodinámico del Ciclo de Atkinson, que se utiliza con mayor frecuencia en autos híbridos, es igual al Ciclo de Otto. Consulta los Consejos de la sección 3-7.

## Eficiencia teórica del Ciclo de Diesel

El Ciclo de Diesel es el ciclo termodinámico del motor diésel inventado por Rudolf Diesel. Los cuatro procesos del Ciclo de Diesel son (1) la compresión adiabática, (2) la adición de calor isobárico, (3) la expansión adiabática y (4) el rechazo de calor isovolumétrico. La adición de calor isobárico hace referencia al calentamiento de la superficie de trabajo dentro del cilindro sin cambiar la presión de aire.

La eficiencia térmica teórica se puede derivar de la fórmula de la derecha.

**Diagrama 3-4-3 Procesos del Ciclo de Diesel**

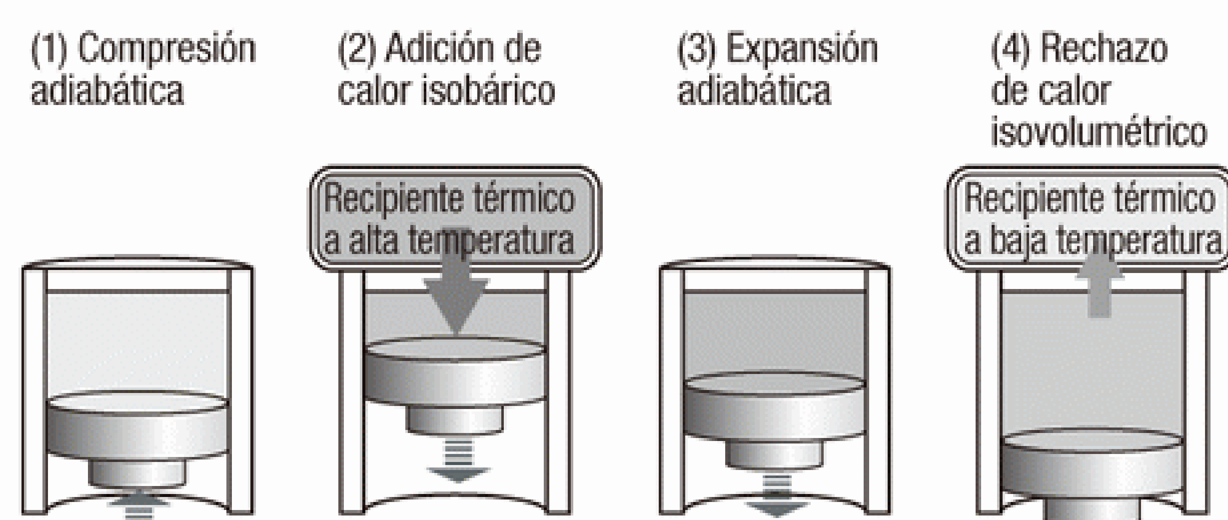
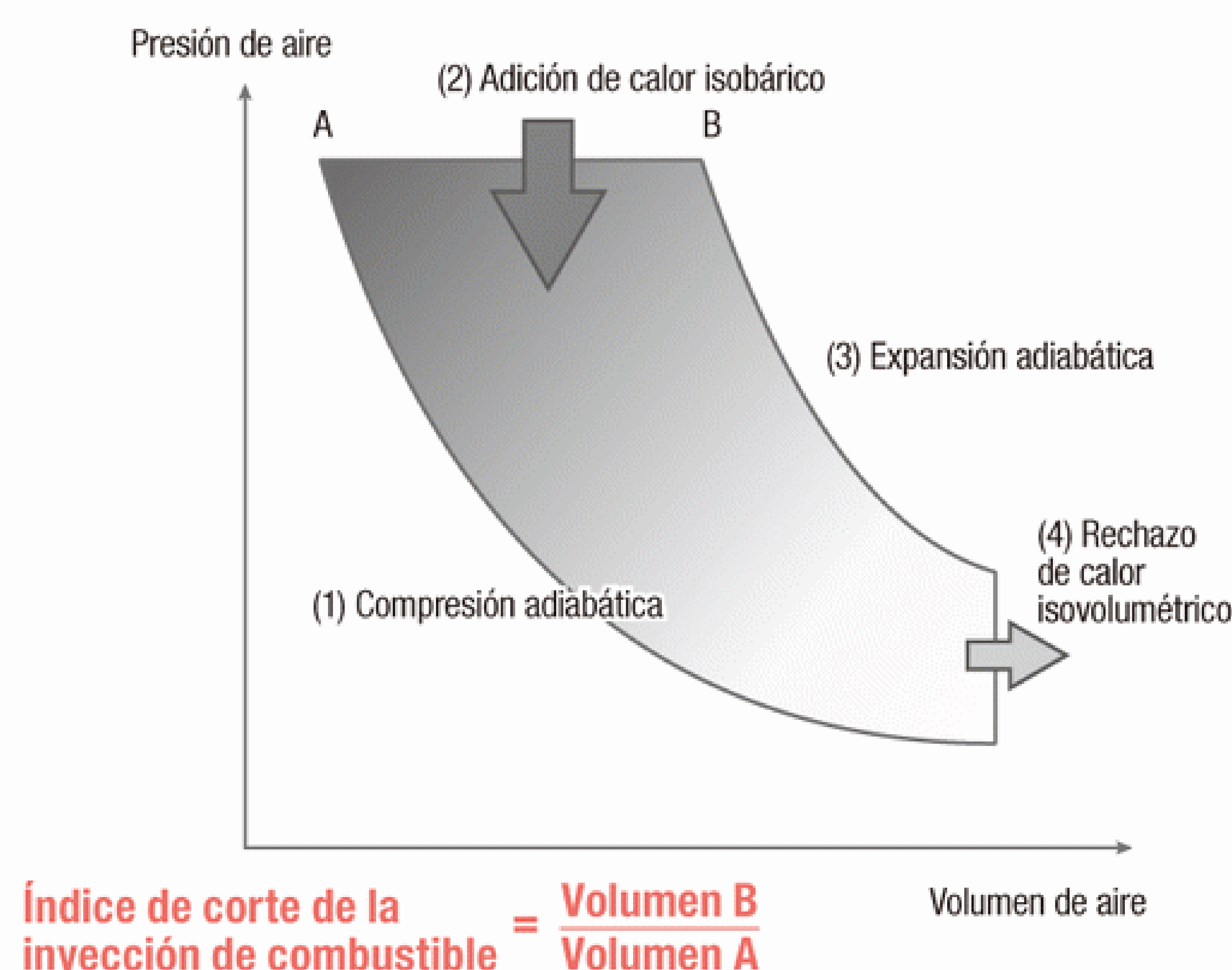



**Diagrama 3-4-4 Cambio de presión y volumen de aire en el Ciclo de Otto**




$$\text{Índice de corte de la inyección de combustible} = \frac{\text{Volumen B}}{\text{Volumen A}}$$

$$\text{Eficiencia teórica del Ciclo de Diesel} = 1 - \frac{1}{\text{Compresión}^{\text{Índice de calor específico}-1}} \cdot \frac{\text{Índice de corte de la inyección de combustible}^{\text{Índice de calor específico}} - 1}{\text{Índice de calor específico}\left(\text{Índice de corte de la inyección de combustible} - 1\right)}$$

Se determina mediante solo tres mediciones: índice de compresión, índice de calor específico e índice de corte de la inyección de combustible. Para maximizar la eficiencia del Ciclo de Diesel, el pistón se debe mover, de nuevo, en forma muy lenta. Sin embargo, la transferencia térmica es inevitable en los ciclos (2) y (4). Por lo tanto, la transferencia térmica del Ciclo de Diesel es relativamente ineficiente en comparación con el Ciclo de Carnot.




Ejemplo del Ciclo de Diesel. Motor diésel de 2.2 litros marca Mazda

Los tres ciclos (de Carnot, Otto y Diesel) no alcanzan la eficiencia teórica de un motor térmico. En realidad, el movimiento lento del pistón según se requiere para obtener la máxima eficiencia no produce valor de utilidad. A su vez, las temperaturas del pistón y el cilindro no se pueden aislar por completo, lo que ocasiona una transferencia térmica poco económica debido a diferencias de temperatura. Tampoco se puede evitar la fricción entre el pistón y el cilindro. Sin embargo, la aclaración de la eficiencia teórica arroja luz sobre la verdadera naturaleza de cada motor térmico, lo que brinda a los ingenieros un principio rector muy valioso.

# 3 5 Cambio reversible e irreversible

▶ El cambio natural se produce en una dirección

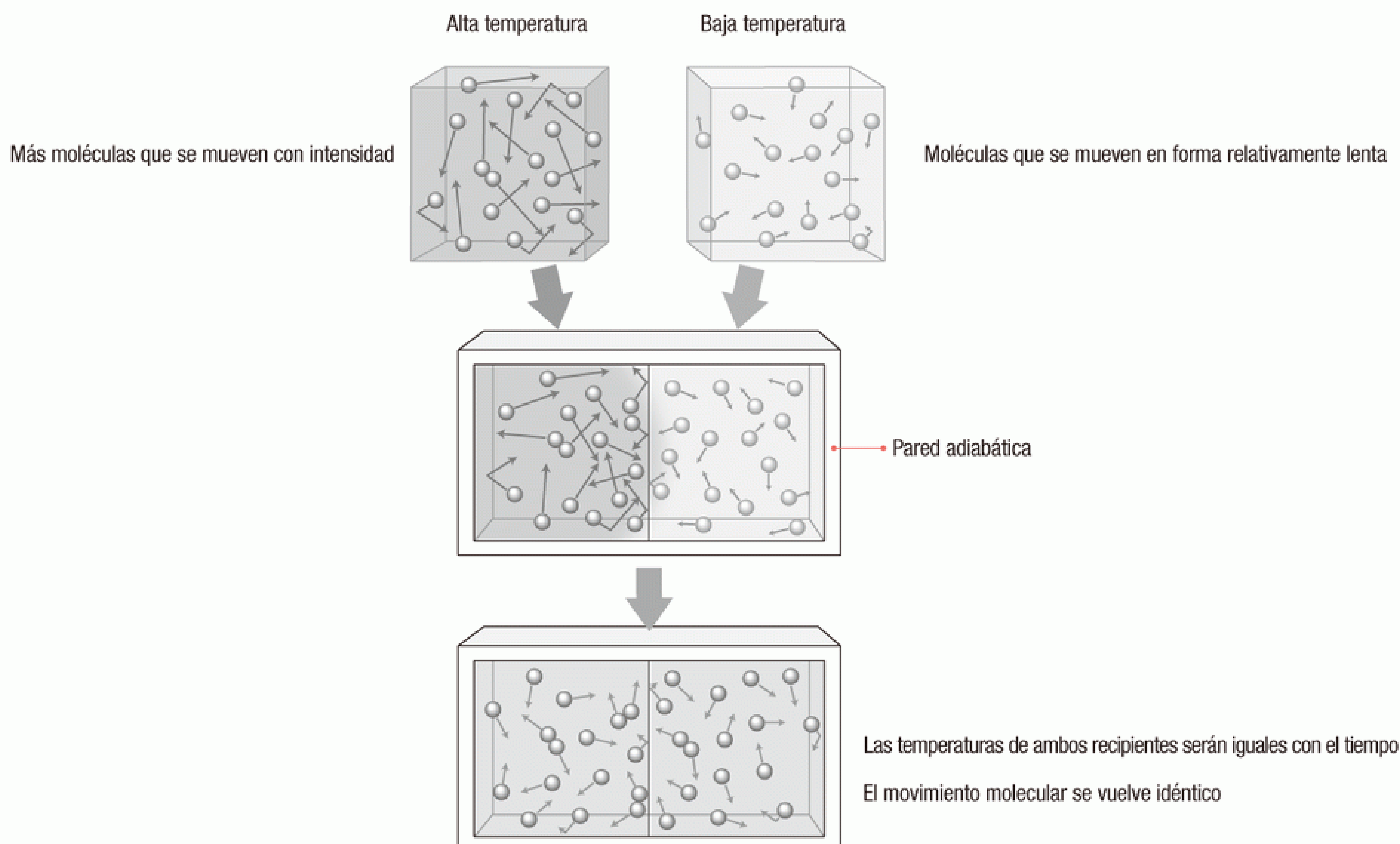
A partir de aquí, examinemos la inevitable pérdida de energía de los motores según lo que hemos visto en las páginas anteriores. Pero antes de entrar en detalles, se debe explicar una ley natural muy importante.

## En la naturaleza se producen cambios que van del orden al desorden

Veamos de nuevo las moléculas de gas dentro de un recipiente. Sin embargo, esta vez utilizaremos un recipiente con gas a alta temperatura y otro con gas a baja temperatura, sellados en el interior. Si ambos recipientes se ponen en contacto, el calor del recipiente a alta temperatura se transferirá al recipiente a baja temperatura. Si se dejan como están, ambos alcanzarán pronto una temperatura media que detendrá cualquier transferencia térmica adicional, lo que hará que lleguen a un estado de equilibrio.

Desde una perspectiva microscópica, inicialmente, el recipiente con gas a alta temperatura contiene mayores cantidades de moléculas que se desplazan rápido, mientras que el recipiente a menor temperatura contiene cantidades relativamente menores de moléculas que se mueven rápido. Cuando dos recipientes entran en contacto, la energía cinética de las moléculas dentro del recipiente a alta temperatura se transfiere al recipiente a baja temperatura, lo que aumenta la energía cinética dentro del recipiente a baja temperatura. Cuando cada una de las moléculas de ambos recipientes alcanza la energía cinética (temperatura) media, la transferencia de energía cinética (energía cinética) entre los recipientes dejará de existir.

**Diagrama 3-5-1** **Contacto entre dos recipientes con diferentes temperaturas**



## No se producen cambios entre el "desorden" y el "orden"

El mismo ejemplo se puede observar desde una perspectiva diferente. Dentro de un recipiente hay moléculas de energía cinética alta, y dentro del otro moléculas de energía cinética menor, lo que hace posible distinguir la diferencia de movimiento molecular dentro de los recipientes a temperatura alta y más baja. Se puede decir que existe información distinguible dentro de los recipientes. Sin embargo, al alcanzar los recipientes el estado de equilibrio, la información distinguible desaparece. Los recipientes quedan ahora en un estado de "desorden".

En la naturaleza, la transformación de un estado de "orden" a uno de "desorden" es, de hecho, natural. La transformación inversa de "desorden" a "orden" no tiene lugar en la naturaleza. Por ejemplo, cuando los recipientes a alta y baja temperatura están en contacto, el recipiente a alta temperatura se enfría y el recipiente a abaja temperatura se calienta, lo que es natural. Por otra parte, sabemos por experiencia que cuando dos recipientes con diferentes temperaturas se unen, el recipiente a mayor temperatura no se calentará y el recipiente a menor temperatura no se enfriará. Adicionalmente, sin importar lo que se haga, no es posible ir contra la naturaleza y hacer que los dos recipientes en equilibrio regresen a sus temperaturas originales "exactas", como si retrocediéramos un video. Cuando el estado original no se puede recuperar deshaciendo el cambio, el fenómeno en cuestión se denomina "cambio irreversible". Si el cambio se puede deshacer y el estado original se puede restablecer, el fenómeno se denomina "cambio reversible".

Diagrama 3-5-2 **Una dirección de cambio natural en la naturaleza**

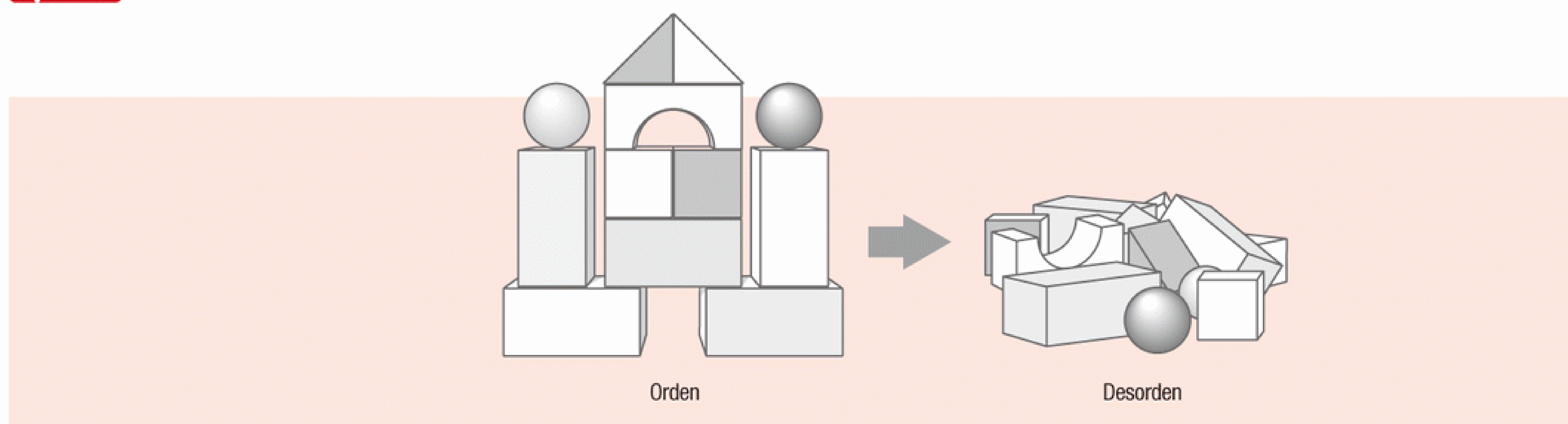
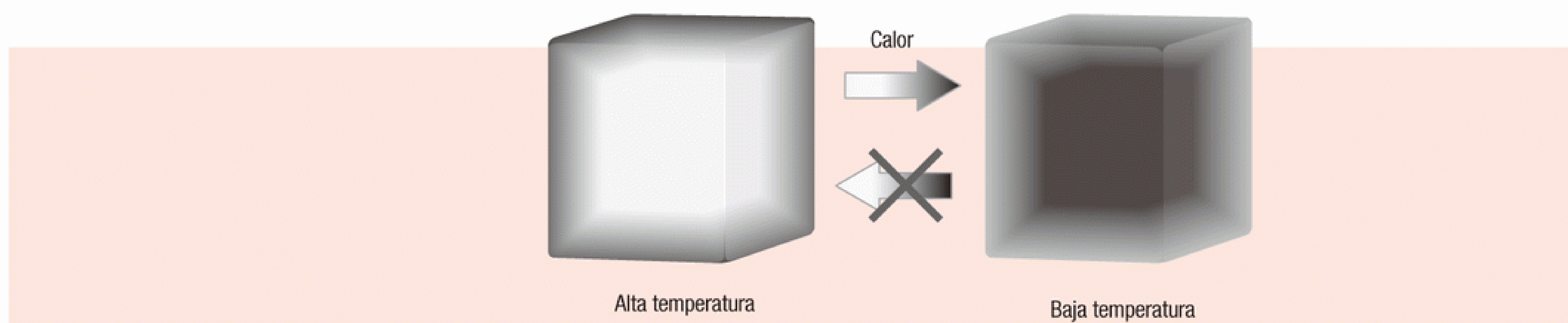



Diagrama 3-5-3 **La transferencia térmica de una temperatura baja a una alta no se produce naturalmente. (Para ser específicos, tal fenómeno puede ocurrir de manera natural, aunque la probabilidad de que ocurra es prácticamente nula). Si la transferencia térmica de una temperatura baja a una alta tiene lugar de manera artificial, siempre quedará un rastro de la transferencia. Por lo tanto, la inversión perfecta de las condiciones de alta y baja temperatura originales no es posible.**



# 3 6 Inversión del motor térmico

## ▶ Diferencias en los ciclos reversibles e irreversibles

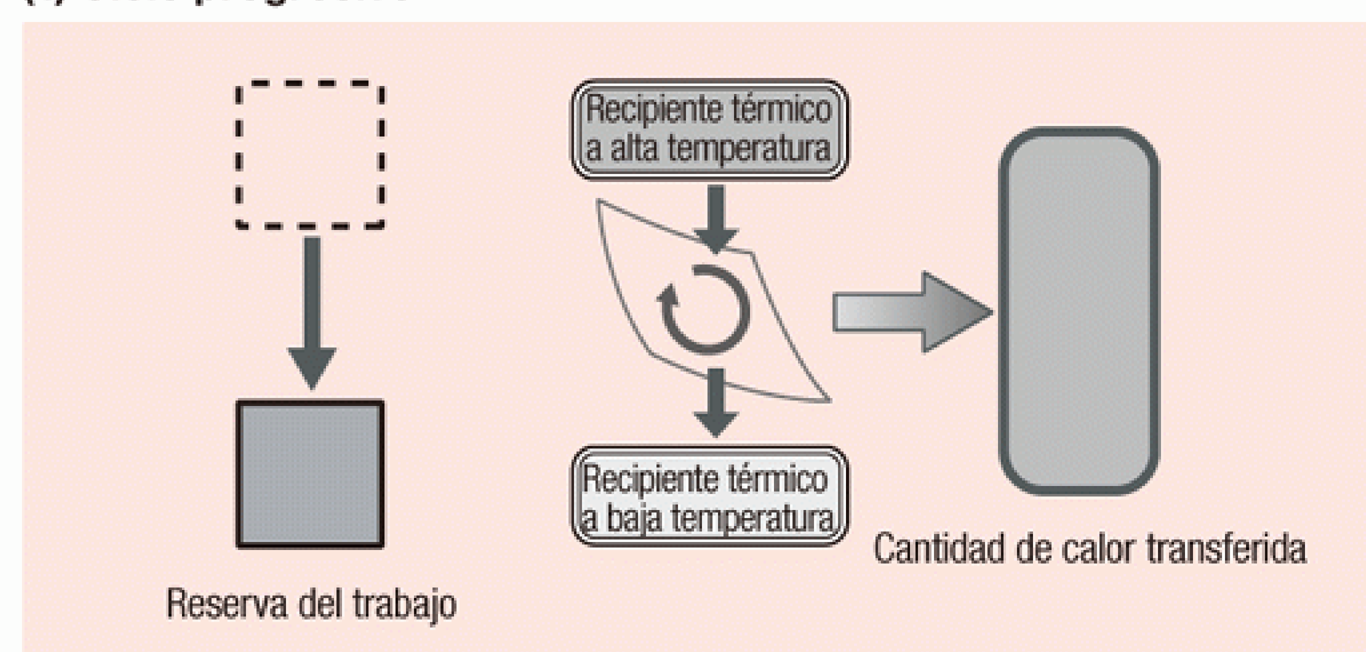
Explicamos la eficiencia teórica del Ciclo de Carnot, del Ciclo de Otto y del Ciclo de Diesel, entonces, ¿por qué los motores reales no pueden alcanzar tal eficiencia? ¿Por qué se pierde energía en un motor real? La respuesta a esto yace oculta en el hecho de que la eficiencia teórica del ciclo termodinámico solo se puede alcanzar con un pistón que funcione a velocidad gradual y baja.

### El proceso reversible del Ciclo de Carnot

Regresemos al Ciclo de Carnot. Supongamos que el Ciclo de Carnot funciona en el orden (1) → (2) → (3) → (4) "ciclo progresivo", y en el orden inverso (4) → (3) → (2) → (1) a "ciclo invertido". Supongamos, después, que a través del ciclo progresivo del Ciclo de Carnot una cantidad determinada de calor se transfiere del recipiente térmico a alta temperatura al recipiente térmico a baja temperatura, y que durante el proceso el trabajo derivado se reserva en alguna parte. A continuación, si el trabajo reservado se emplea para realizar un ciclo invertido del Ciclo de Carnot, el calor transferido por el ciclo progresivo al recipiente térmico a baja temperatura regresa al recipiente térmico a alta temperatura exactamente como estaba. En este punto, el trabajo reservado desaparecerá con el ciclo invertido y no quedará nada. En otras palabras, el trabajo derivado por el ciclo progresivo del Ciclo de Carnot se puede reservar y cuando ese trabajo se utilice para el ciclo invertido todo el ciclo "regresará a su estado perfecto original". Esto es posible debido a que en el Ciclo de Carnot no existen objetos con diferencias de temperatura que entren en contacto, lo que evita desplazamientos térmicos innecesarios. En otras palabras, todos los procesos del Ciclo de Carnot son cambios reversibles, por lo que es posible un ciclo invertido.

**Diagrama 3-6-1** **Ciclo invertido del Ciclo de Carnot**

**(1) Ciclo progresivo**




**(2) Ciclo invertido**

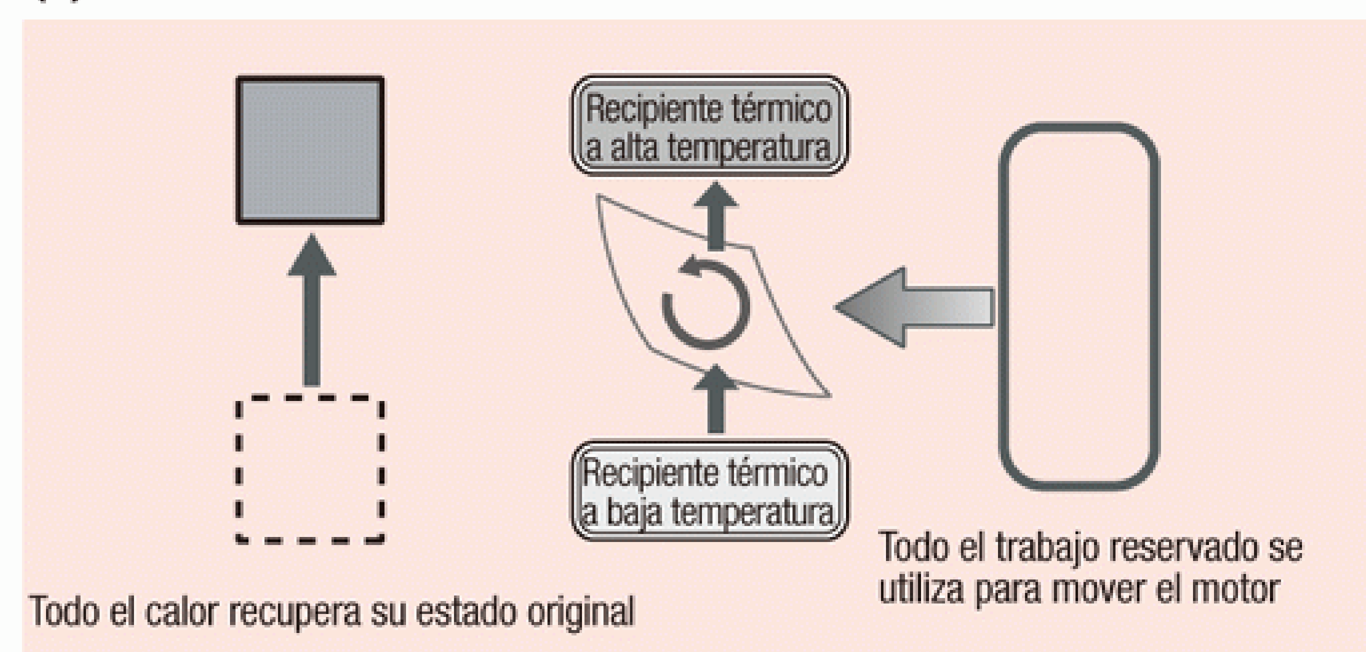
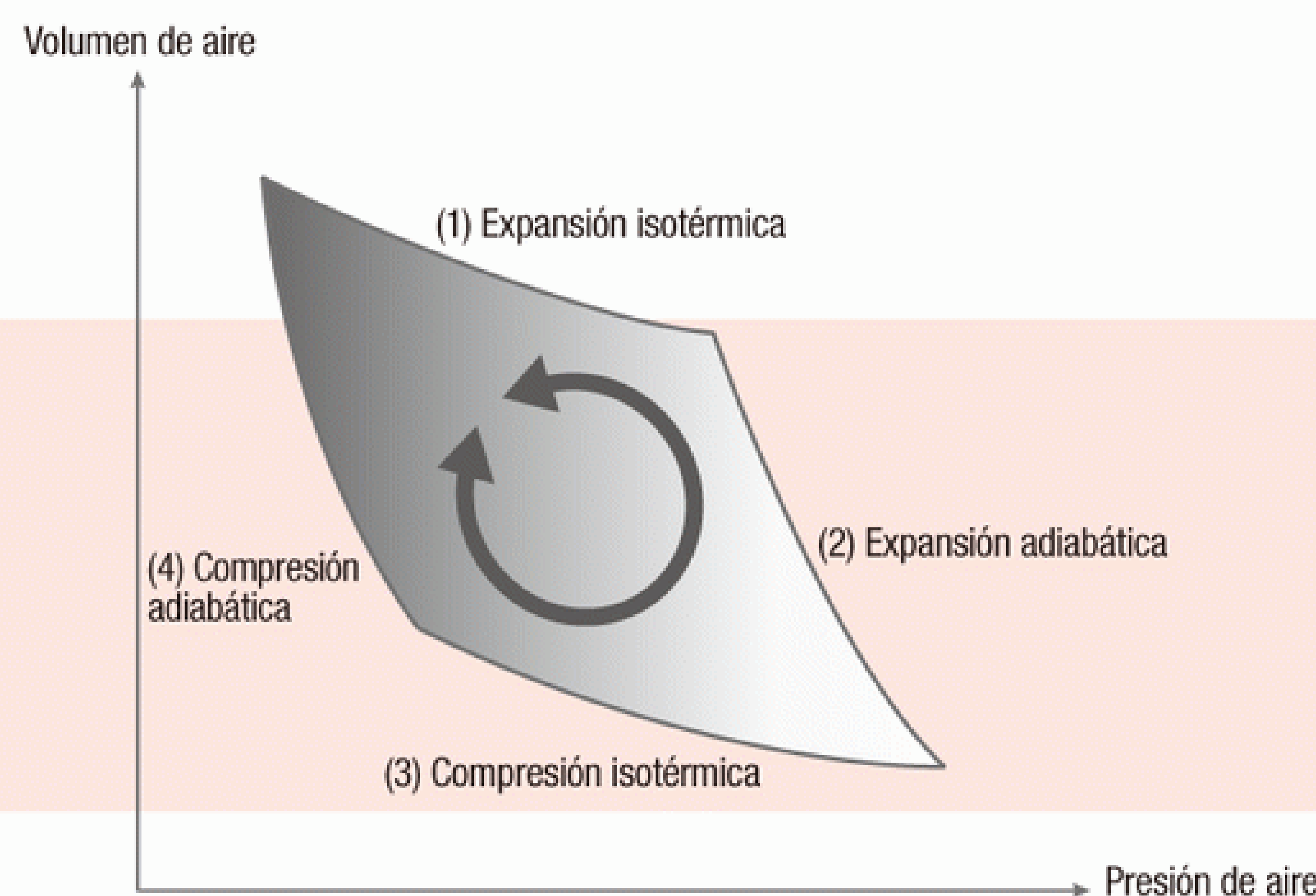



**Diagrama 3-6-2** **Naturaleza reversible del Ciclo de Carnot**

Todos los ciclos del ciclo de Carnot son reversibles; por lo tanto, un ciclo invertido es posible.



## Ciclo invertido de los motores de autos es irreversible

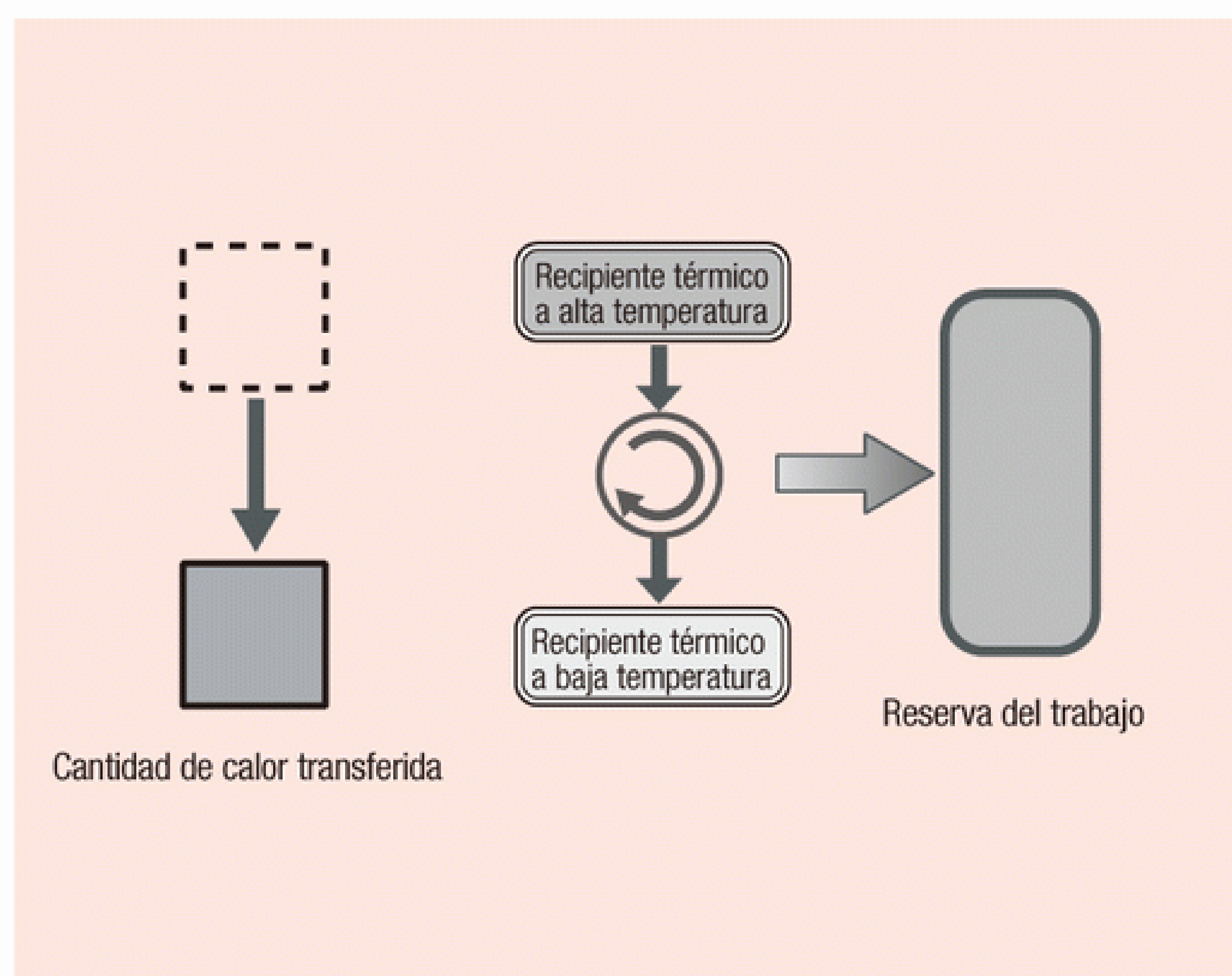
Consideremos ahora el Ciclo de Otto y el Ciclo de Diesel. Al igual que en los casos previos, reservemos el trabajo del ciclo progresivo y apliquemos el trabajo reservado al ciclo invertido. Aun si eliminamos el trabajo reservado para el ciclo invertido, todo el calor no se puede transferir del recipiente térmico a baja temperatura al recipiente térmico a alta temperatura y solo una parte del calor volverá a su estado original,

La razón por la que esto ocurre, para el Ciclo de Otto y el Ciclo de Diesel, es que se necesita un nivel de diferencia de temperatura para realizar la (2) adición de calor isovolumétrico y el (4) rechazo de calor isovolumétrico, y, respectivamente, la (2) adición de calor isobárico y el (4) rechazo de calor isobárico. Estos procesos no generan trabajo y ocasionan desperdicio de transferencia térmica entre la temperatura alta y baja. Por lo tanto, en comparación con el Ciclo de Carnot, el trabajo derivado de un ciclo progresivo se reduce en la misma magnitud que el desperdicio de transferencia térmica. A su vez, en un ciclo invertido vamos contra la naturaleza, ya que cambiamos la temperatura baja por una temperatura alta en un proceso con diferencia de temperatura, por lo que nuevamente se necesita más trabajo.

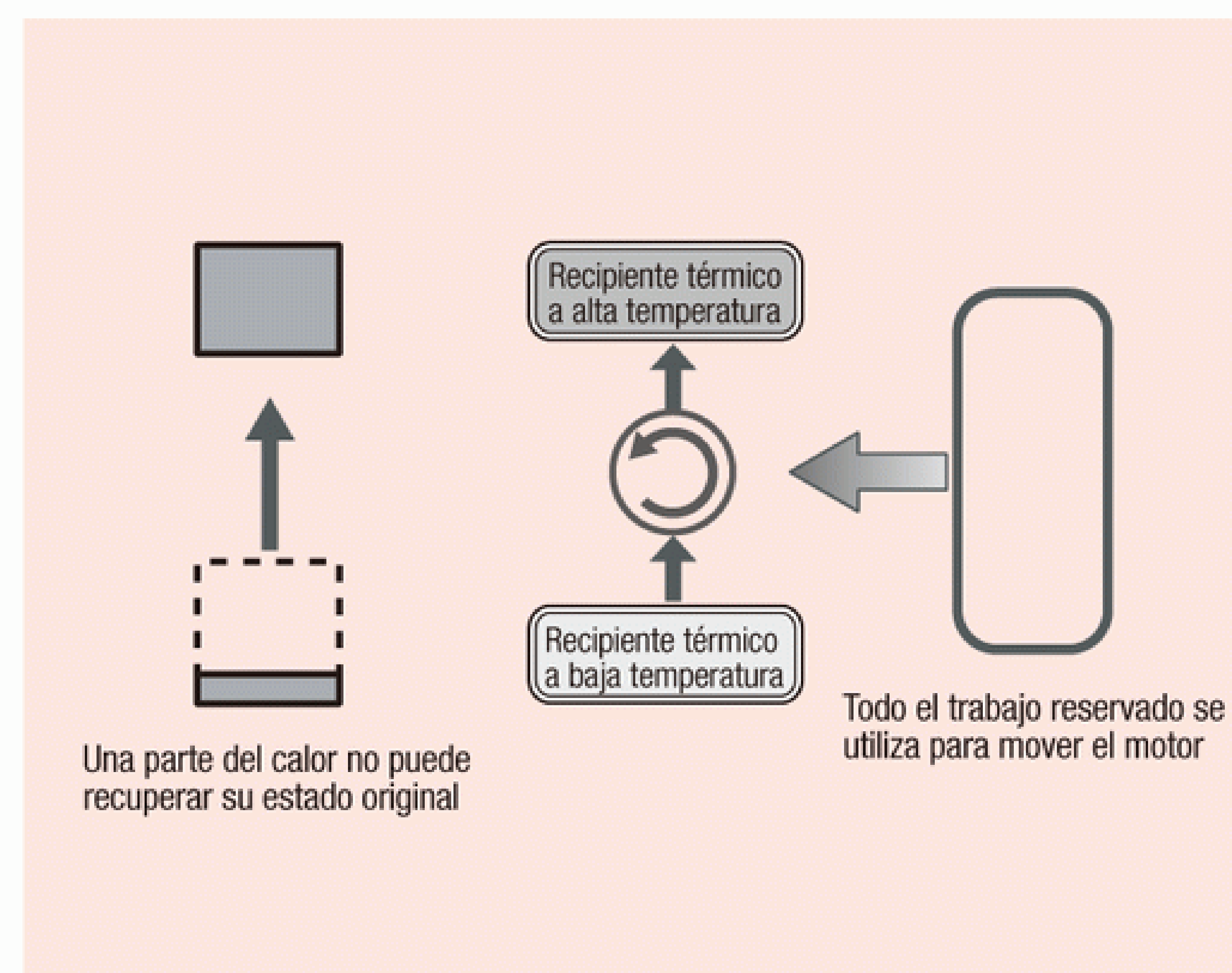
Esto, de hecho, indica algo muy importante. Si un motor térmico no puede realizar un ciclo invertido reversible, significa que se desperdicia transferencia térmica en el proceso de trabajo del ciclo. Veremos esto más adelante.

**Diagrama 3-6-3** Ciclo invertido del Ciclo de Carnot

(1) Ciclo progresivo




(2) Ciclo invertido




**CONSEJOS** Si el Ciclo de Carnot fuera reversible, ¿qué quedaría tras realizar un ciclo progresivo y después uno invertido? Carnot comprendió que su Ciclo de Carnot, que no deja rastros, representa el motor ideal. Si existiera un motor más eficiente que el del Ciclo de Carnot, tendría que utilizar el movimiento perpetuo. Sin embargo, se supone que el movimiento perpetuo no existe y que la posibilidad mencionada es discutible.

3
7

# Pérdida de energía en los motores

▶ La pérdida de energía se debe a cambios irreversibles.

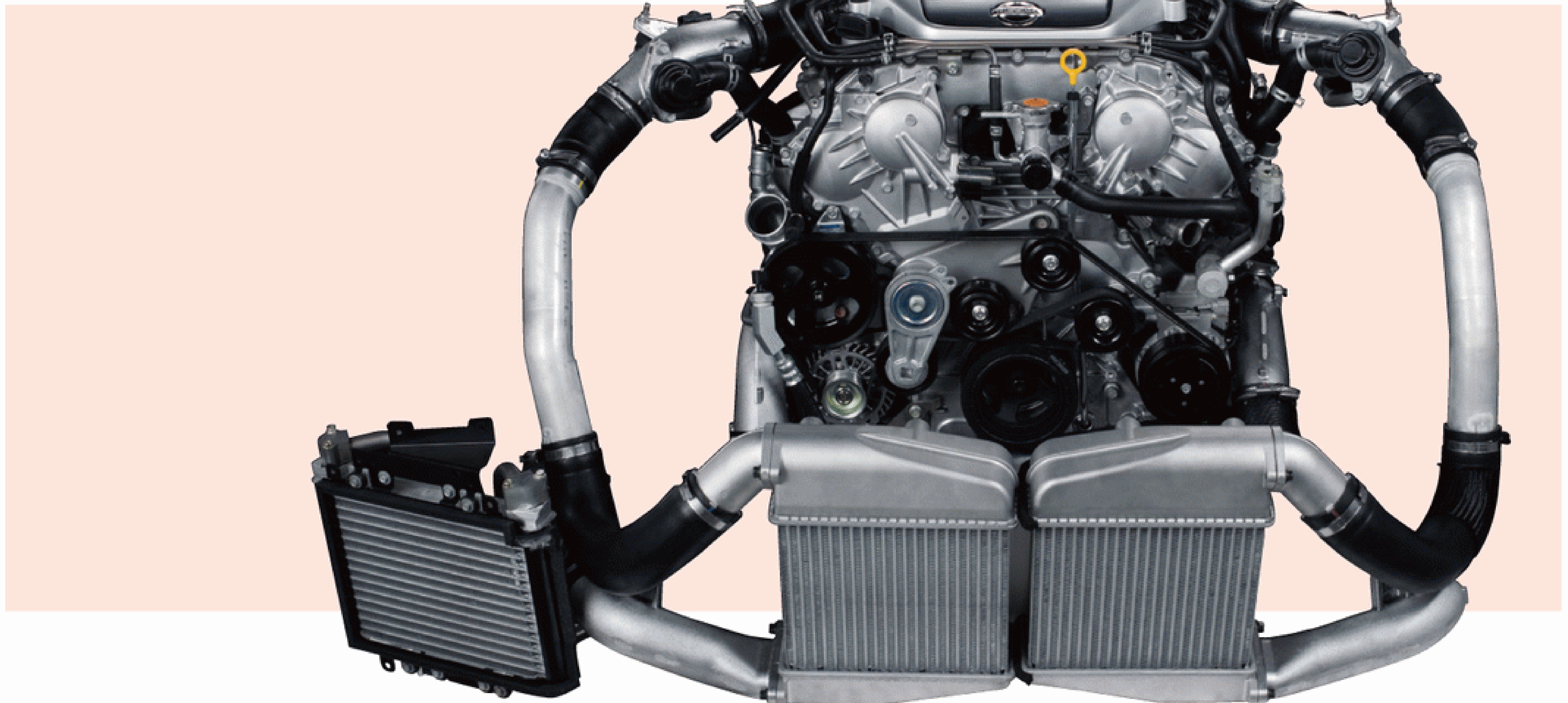
Al explicar la eficiencia teórica del motor térmico, hemos mencionado repetidamente que "el pistón se debe mover de manera gradual y a velocidades reducidas". Esto es en realidad necesario para evitar cualquier cambio irreversible. Ahora, veamos en detalle la naturaleza de la pérdida de energía debido al cambio irreversible.

## Pérdida de energía del motor

Como se mostró anteriormente, el ciclo de Carnot no transfiere calor a través de diferencias de temperatura, de modo que un ciclo reversible invertido es posible. Sin embargo, el ciclo de Otto y el ciclo de Diesel se sustentan en procesos irreversibles que utilizan diferencias de temperatura para la transferencia térmica, de modo que un ciclo reversible invertido no es posible.

Hasta ahora, nos hemos concentrado en el concepto de cambio irreversible debido a la transferencia por diferencias de temperatura, pero si hay un fenómeno de cambio irreversible dentro del proceso de un ciclo de motor térmico, la transferencia térmica no se puede extraer para el trabajo y es, más bien, algo que reduce la cantidad de trabajo posible.

Cuando el motor real está en movimiento, se genera calor a partir del cambio químico del combustible dentro del cilindro, y se utiliza la energía que se genera para mover el pistón para el trabajo. En este punto, el calor produce diferencias de temperatura, lo que causa un desperdicio innecesario de transferencia térmica. La fricción entre el cilindro y el pistón ocasiona ruido y turbulencia, y el cambio químico del combustible también es irreversible. Por supuesto, debido a que estos fenómenos son cambios irreversibles, cuando ocurren no es posible restablecer el estado original, como si se hiciera retroceder un video. En otras palabras, se produjo una transferencia térmica poco económica.

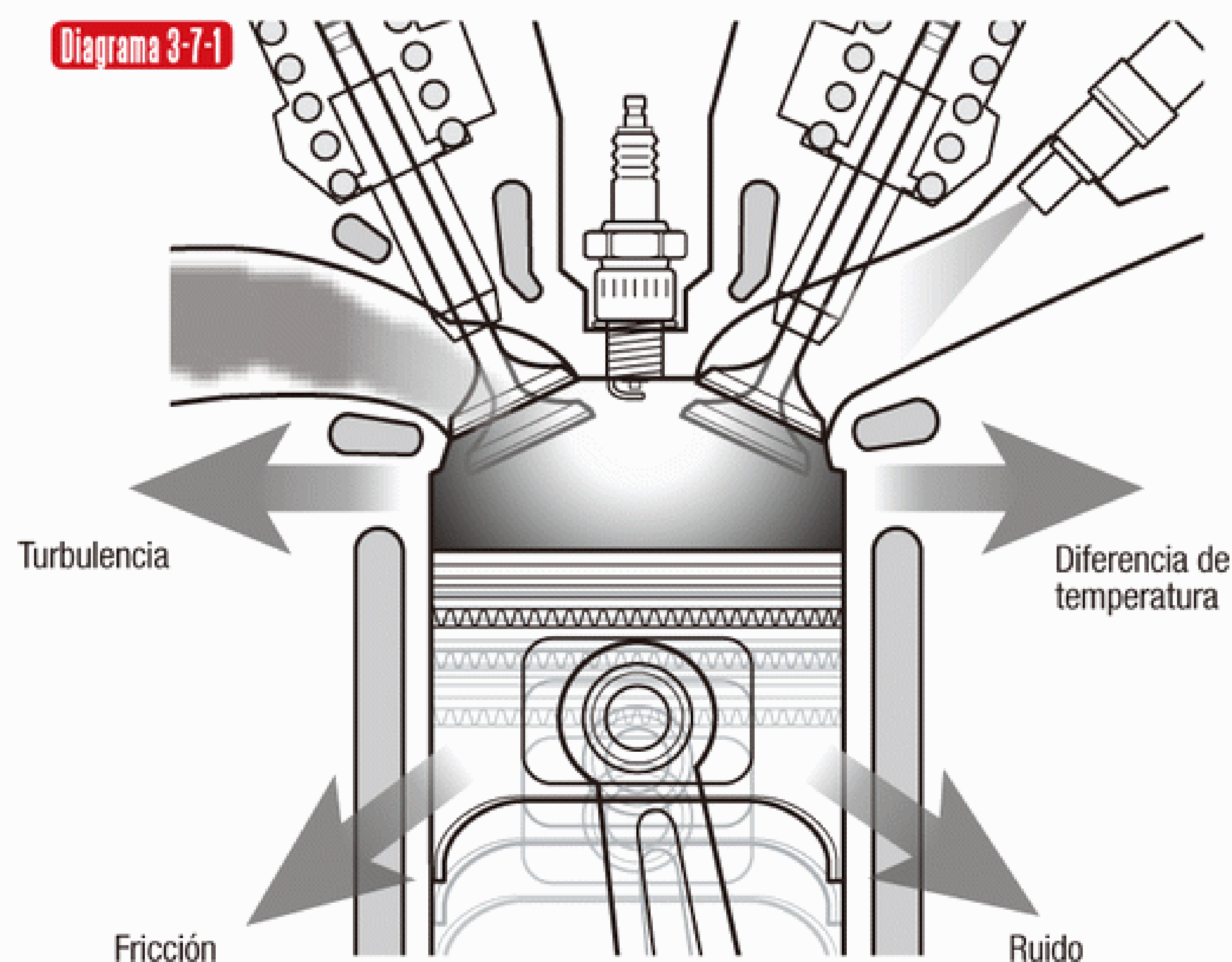


El desarrollo de motores es una lucha constante por la eficacia. En la imagen se muestra un motor de 3,8 L y 6 cilindros en V [VR38] de la marca Nissan.

## Pérdida de energía mecánica

Hasta ahora, la atención se ha centrado en los motores térmicos, pero la pérdida de energía mecánica se produce por completo debido a los cambios irreversibles. Por otra parte, una máquina eficaz es aquella en la que no se producen demasiados cambios irreversibles. Por lo tanto, para crear una máquina eficiente, es muy importante comprender qué es un cambio irreversible y evitar que esto ocurra en la medida de lo posible.

Diagrama 3-7-1



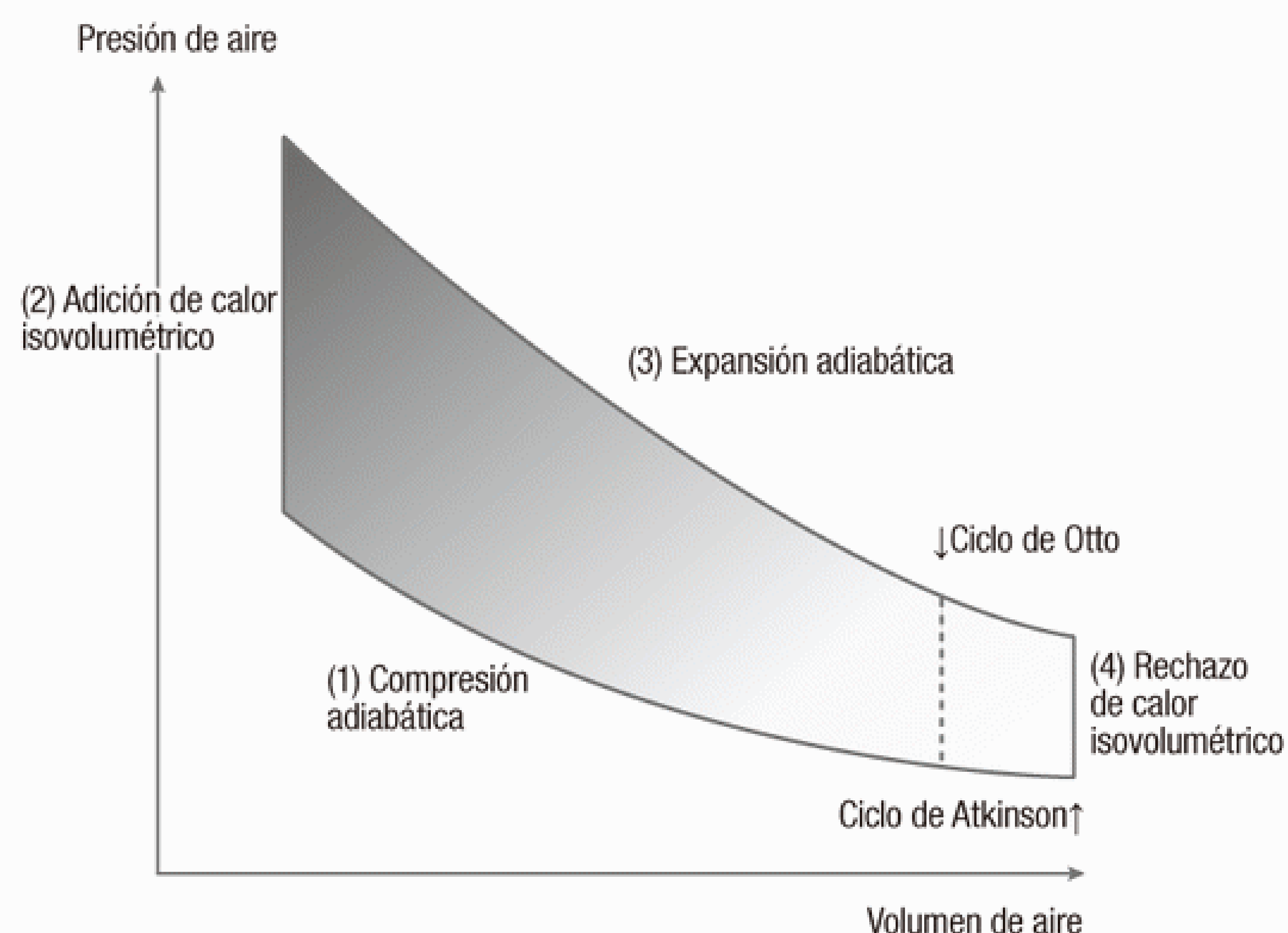

Cuando el pistón se mueve rápidamente, se pierde bastante energía irreversible desde el motor.

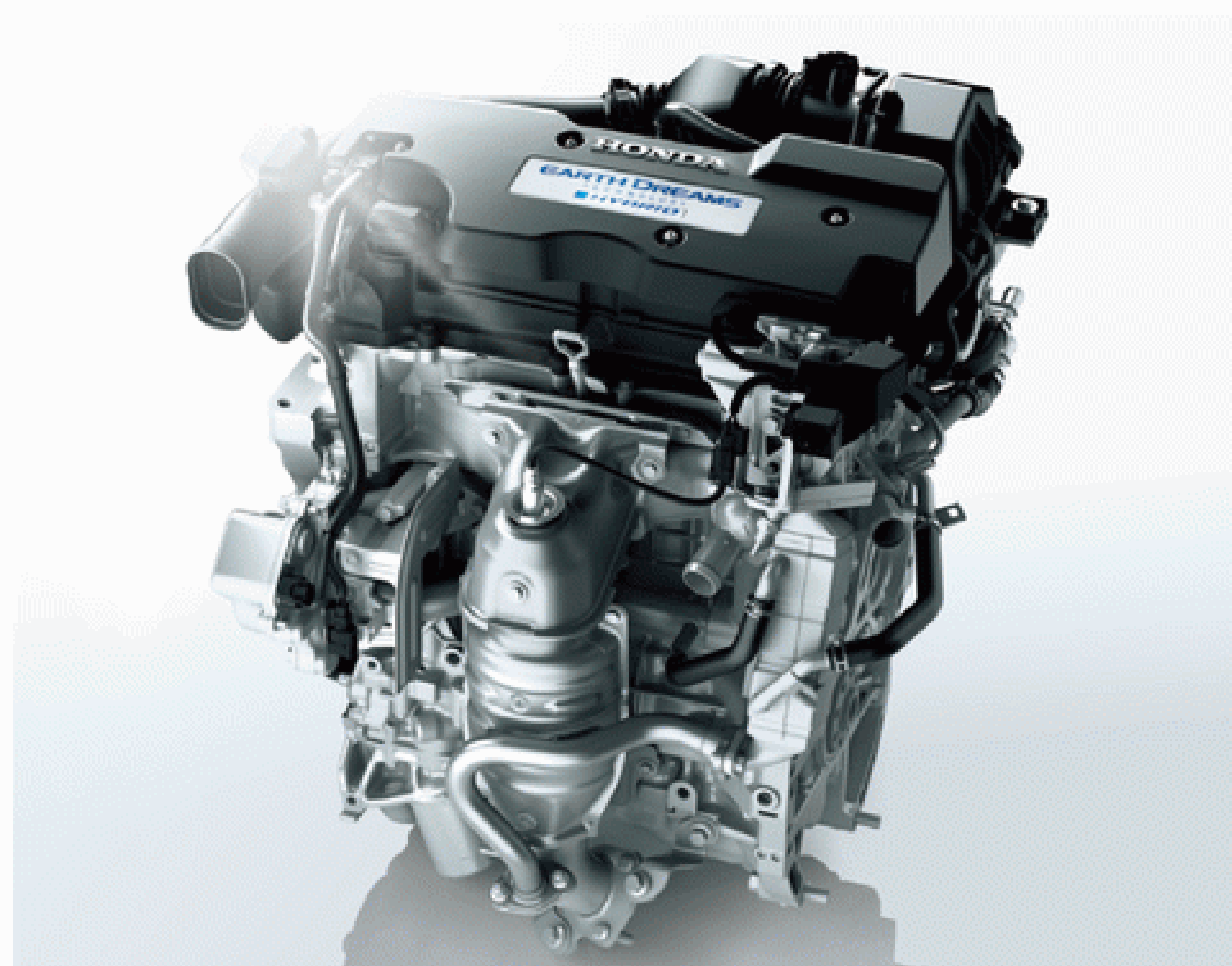
**CONSEJOS** El Ciclo de Atkinson utiliza el mismo ciclo termodinámico que el Ciclo de Otto y el trabajo aumenta a medida que al se prolonga el proceso de expansión. Desarrollado con la intención de crear un motor que no genere muchos cambios irreversibles, el Ciclo de Atkinson es un ciclo termodinámico que está sujeto al proceso de prolongación del cambio adiabático de (1) y (3), y de acotamiento del rechazo de calor isobárico del proceso de cambio irreversible en (4). Ten en cuenta que la expansión adiabática a alta temperatura y la compresión adiabática a baja temperatura nunca se entrecruzarán, con lo que existe la necesidad de que un ciclo isovolumétrico actúe como elemento conductor.

De manera similar, cuando se optimiza la eficiencia de los motores o de cualquier otra máquina, se puede decir que todo tiene que ver con "garantizar la prevención del cambio irreversible".

Diagrama 3-7-2 **Ciclo de Atkinson**

El ciclo de Atkinson es un ciclo termodinámico que prolonga el proceso adiabático y acorta la evacuación de calor isobárico.




El Honda Accord híbrido está equipado con el motor de 2 litros DOHC i-VTEC de ciclo Atkinson.

Aun el fenómeno más complejo se rige por las reglas más simples.



# 4 1 Teoría de Bernoulli

▶ Relatividad de presión y velocidad de los fluidos

¿De qué manera el aire que rodea al automóvil afecta su rendimiento? Para responder esa pregunta, necesitamos comprender la teoría de la aerodinámica. En esta sección, presentaremos los aspectos básicos de la aerodinámica.

## Movimiento molecular en presencia de flujo (corriente)

En la sección previa, se explicó que la medición de presión será la misma sin importar la dirección en un estado de equilibrio. Una perspectiva macroscópica muestra que el número incontable de moléculas que se mueven de manera desordenada en realidad chocan de manera uniforme en todas las direcciones. Desde el punto de vista de la energía, se puede decir que la energía cinética de las moléculas se dispersa de manera uniforme. Esto se denomina "Ley de la equipartición de la energía" (en adelante, equipartición).

Sin embargo, si existe un flujo para el movimiento de moléculas, la equipartición será inválida. Habrá mayor energía cinética en la dirección del flujo, y menor energía cinética en otras direcciones diferentes a la del flujo. Cuando se mide la presión en el flujo, la presión medida en la dirección del flujo es más alta, y la presión medida perpendicular al flujo será más baja.

Se debe observar que la suma de la energía cinética antes y después de un cambio en la dirección del flujo no cambiará. Por ejemplo, si una corriente de flujo se produce a partir de un estado de equilibrio, la suma de energía cinética después del flujo y la suma en el estado de equilibrio idénticas. En otras palabras, cuando se produce un cambio de caudal, la dispersión de energía cinética cambia, pero la suma de la energía cinética total no.

**Diagrama 4-1-1** Movimiento de moléculas. Si existe un flujo para el movimiento de moléculas, la presión más alta se encuentra en la dirección del flujo y la presión más baja se encuentra en un punto perpendicular respecto de la dirección del flujo

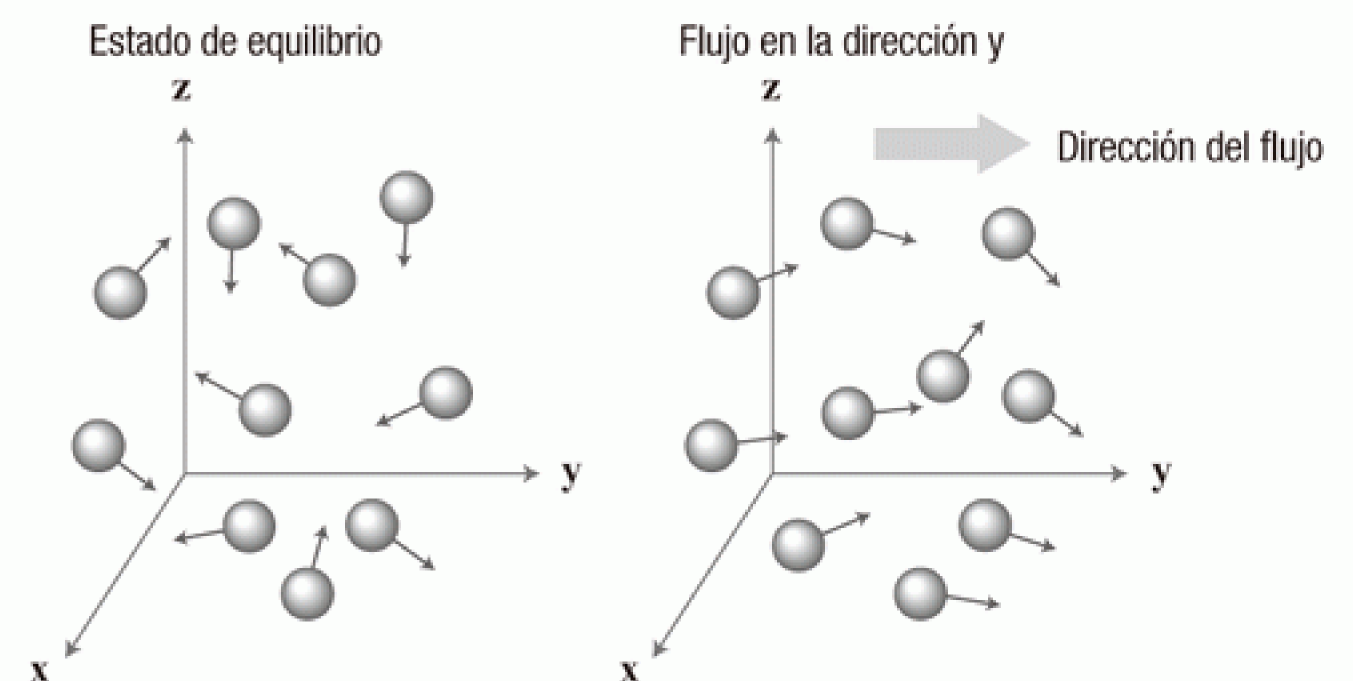
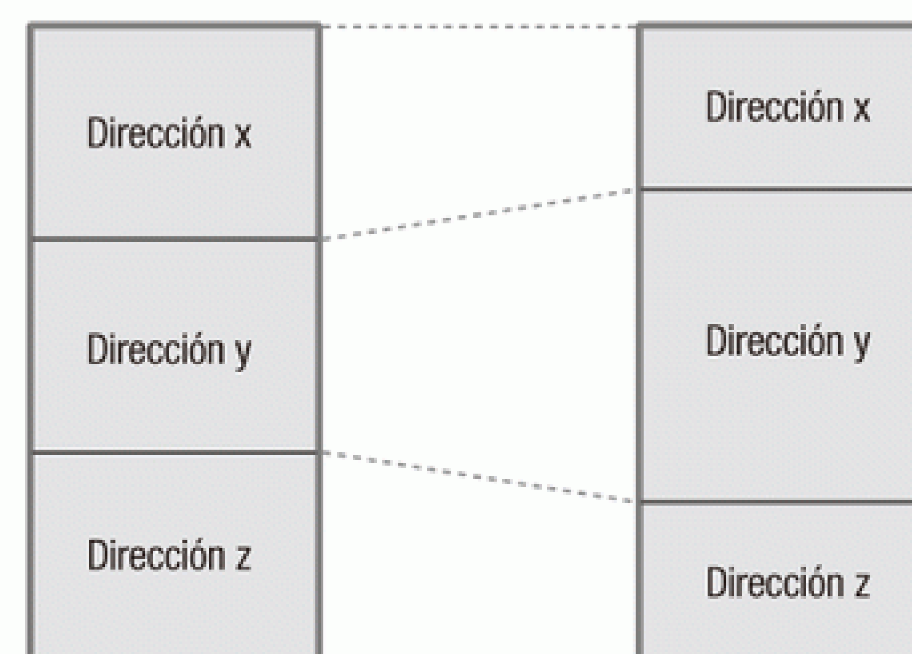
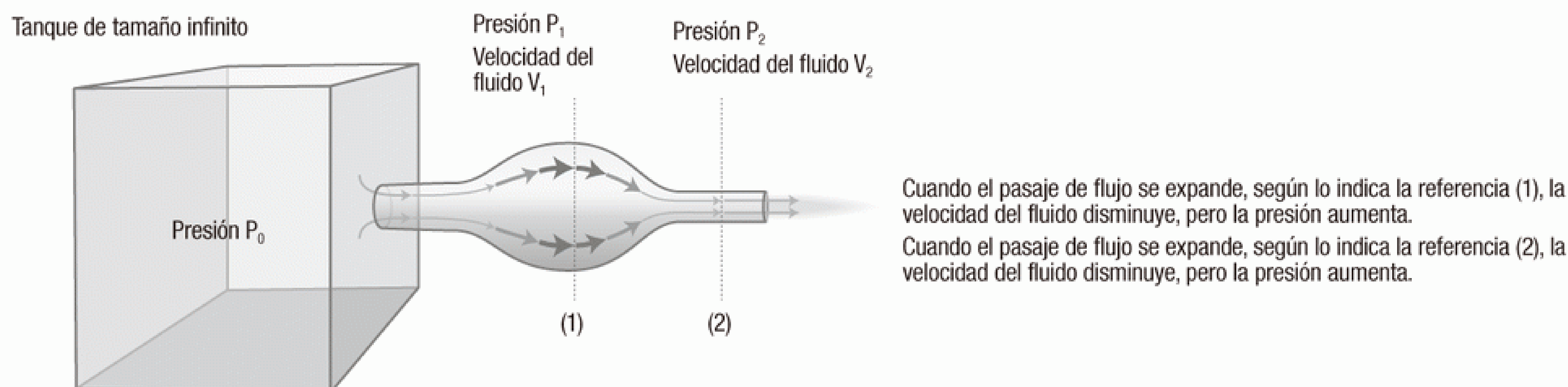



**Diagrama 4-1-2** Dispersión de la energía cinética molecular




La suma de la energía cinética no cambia aun cuando la dirección del flujo cambia.

Diagrama 4-1-3 **Ejemplo de la teoría de Bernoulli**




## Teoría de Bernoulli

La teoría de Bernoulli define la relación entre la velocidad del flujo y la presión cuando se produce la disipación de energía debido al cambio de flujo. La teoría de Bernoulli se puede expresar matemáticamente de la siguiente manera.

Aquí, "P" es la presión, $\rho$ la densidad del fluido y "V" la velocidad del fluido. Bernoulli había reconocido la relación entre la velocidad del fluido y la presión a partir del concepto de "vis viva" (en latín "fuerza viva"), un concepto muy similar al de energía. Sin embargo, a menudo se piensa que no comprendió por completo la relación entre presión y velocidad. Quien dio a la teoría de Bernoulli un significado matemático total y correcto fue su amigo cercano, Leonhard Euler.

$$P_0=P_1+\frac{1}{2}\rho V_1^2=P_2+\frac{1}{2}\rho V_2^2$$

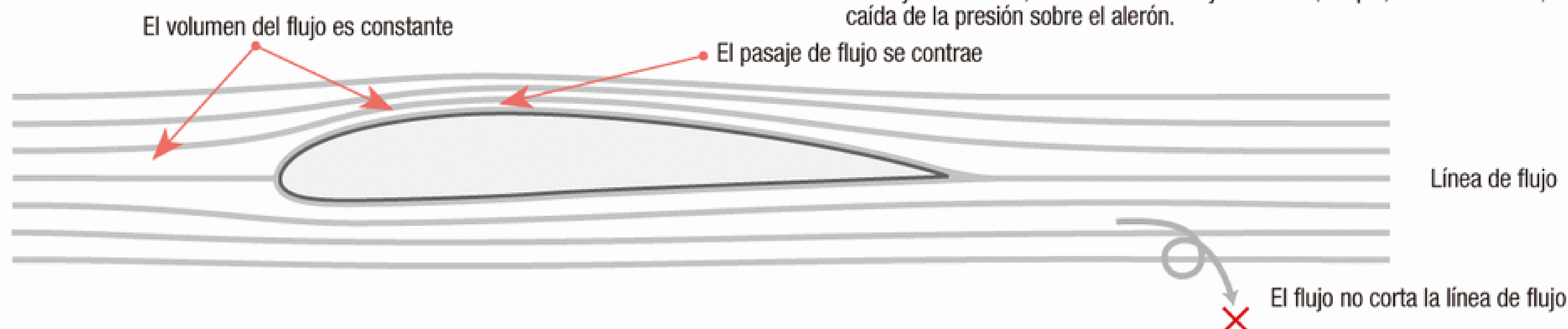
## Mecanismo de generación de sustentación

En esta sección se explicará el mecanismo por el que un perfil aerodinámico genera sustentación a través de la teoría de Bernoulli.

En el Diagrama 4-1-4 se ilustra la línea de flujo de un perfil aerodinámico. Una línea de flujo es una curva basada en la línea tangente del vector de velocidad. Es la línea de flujo o línea de corriente. La definición de una línea de flujo establece que un flujo no corta la línea de flujo; por lo tanto, un área que se encuentra entre la misma línea de flujo tendrá el mismo volumen de flujo en cualquier parte del flujo. Observe que una ubicación en la que existe fluido se denomina "campo de flujo".

Si se observa el campo de flujo en el Diagrama 4-1-4, se ve que la línea de flujo frente al perfil aerodinámico se encuentra espaciada de manera uniforme, pero podemos decir que el espaciamiento de la línea de flujo se estrecha en la parte superior del perfil aerodinámico. Debido a que el flujo no corta la línea de flujo, se puede asumir que el pasaje del flujo es limitado en la parte superior de un perfil aerodinámico. Pero ya que el volumen de flujo de un pasaje de flujo entre las mismas líneas de flujo no cambia, la velocidad de flujo sobre el perfil aerodinámico donde la trayectoria del flujo se ve limitada debe incrementarse. Por lo tanto, si la trayectoria del flujo es limitada, la velocidad del flujo en la parte superior del perfil aerodinámico debería aumentar. Por lo tanto, según la teoría de Bernoulli, la presión en la parte superior del perfil aerodinámico debería disminuir de manera proporcional al cuadrado de la velocidad del flujo. Por el contrario, si el flujo en la parte inferior del perfil aerodinámico se expande, la velocidad de flujo se reducirá y la presión aumentará. Esta diferencia en presión entre la superficie superior e inferior del perfil aerodinámico es lo que genera la sustentación.

Diagrama 4-1-4 **Mecanismo de generación de sustentación de un perfil aerodinámico**



# 4-2 Ley de movimiento de fluido

## ▶ El significado de la ecuación de movimiento de fluido

### Ecuación de Euler; no se considera la viscosidad

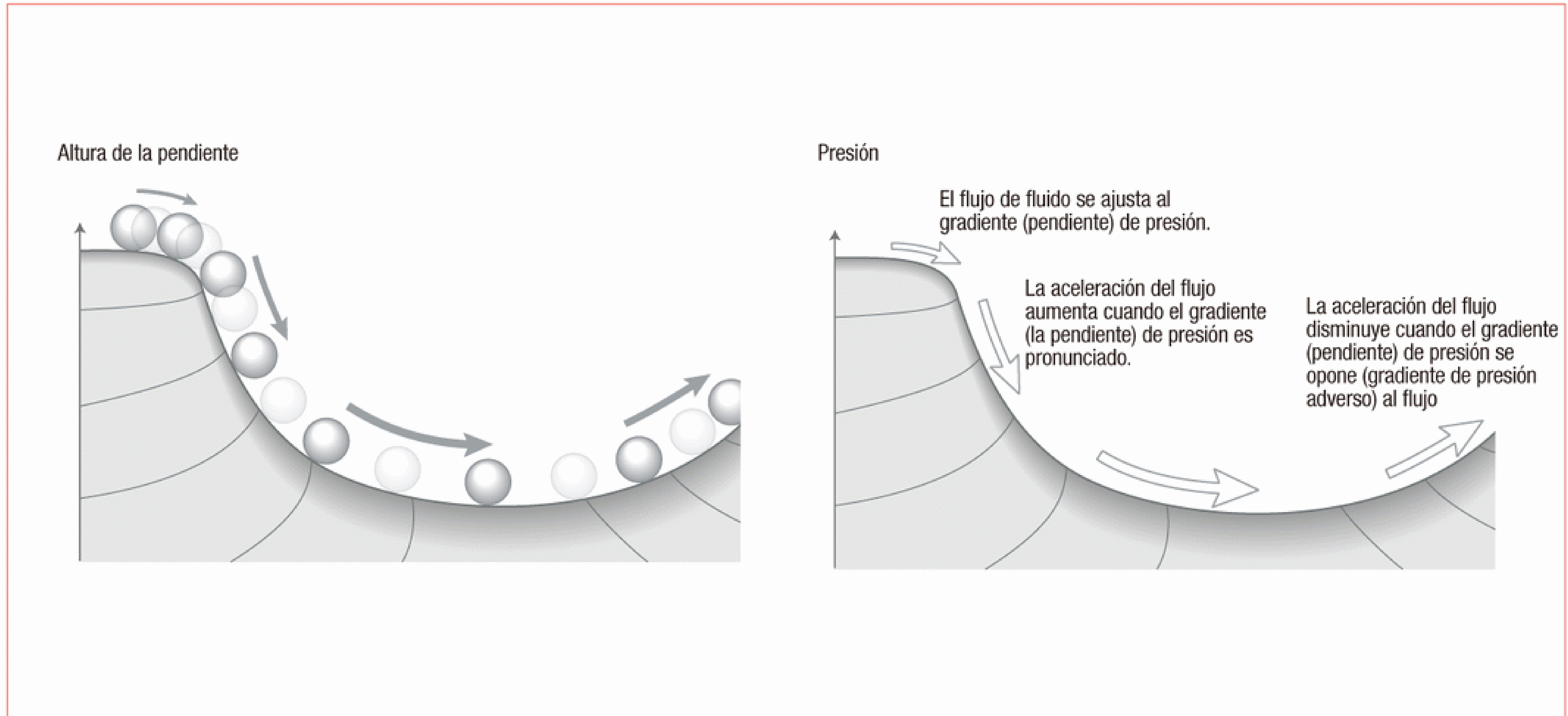
El primero en derivar la ecuación del movimiento de fluidos fue Euler, quien también formuló la teoría de Bernoulli. En términos de avance de la hidrodinámica, esta revelación fue mucho más importante que la teoría de Bernoulli. La ecuación del movimiento que Euler desarrolló se denomina "ecuación de Euler" y se muestra a continuación.

$$\rho \frac{Du}{Dt} = -\nabla P$$

La sección izquierda de la ecuación se denomina "término advectivo" o "de convección", y representa el efecto de advección de un fluido; en otras palabras, el efecto causado por el flujo de fluido. La sección derecha se denomina "término de presión" y expresa el gradiente (la pendiente) de presión. En resumen, Euler establece que "el fluido fluye de acuerdo con el gradiente de presión".

Un buen ejemplo de un gradiente de presión es un gráfico de distribución de presión meteorológica. Durante el invierno en Japón, ingresa aire seco y frío desde el continente euroasiático porque el gradiente de presión alrededor de Japón es alto en el oeste y bajo en el este. Si las líneas de presión están abarrotadas, significa que el gradiente de presión es considerablemente pronunciado; por lo tanto, los vientos en esas áreas son fuertes. Si las líneas de presión están espaciadas y muestran un gradiente presión suave, se puede pronosticar que los vientos en esas áreas serán suaves. Esta comprensión muy intuitiva del flujo es lo que la ecuación de Euler formuló con éxito.

Diagrama 4-2-1 **Gradiente de presión**




**CONSEJOS** La ecuación de movimiento para el fluido sin viscosidad se denomina "ecuación de Euler". La ecuación arriba mencionada corresponde a fluido no comprimido y no tiene en cuenta cambios en la densidad. Euler también formuló una ecuación de movimiento para fluido compresivo.

## Ecuación de Navier-Stokes; se considera la viscosidad

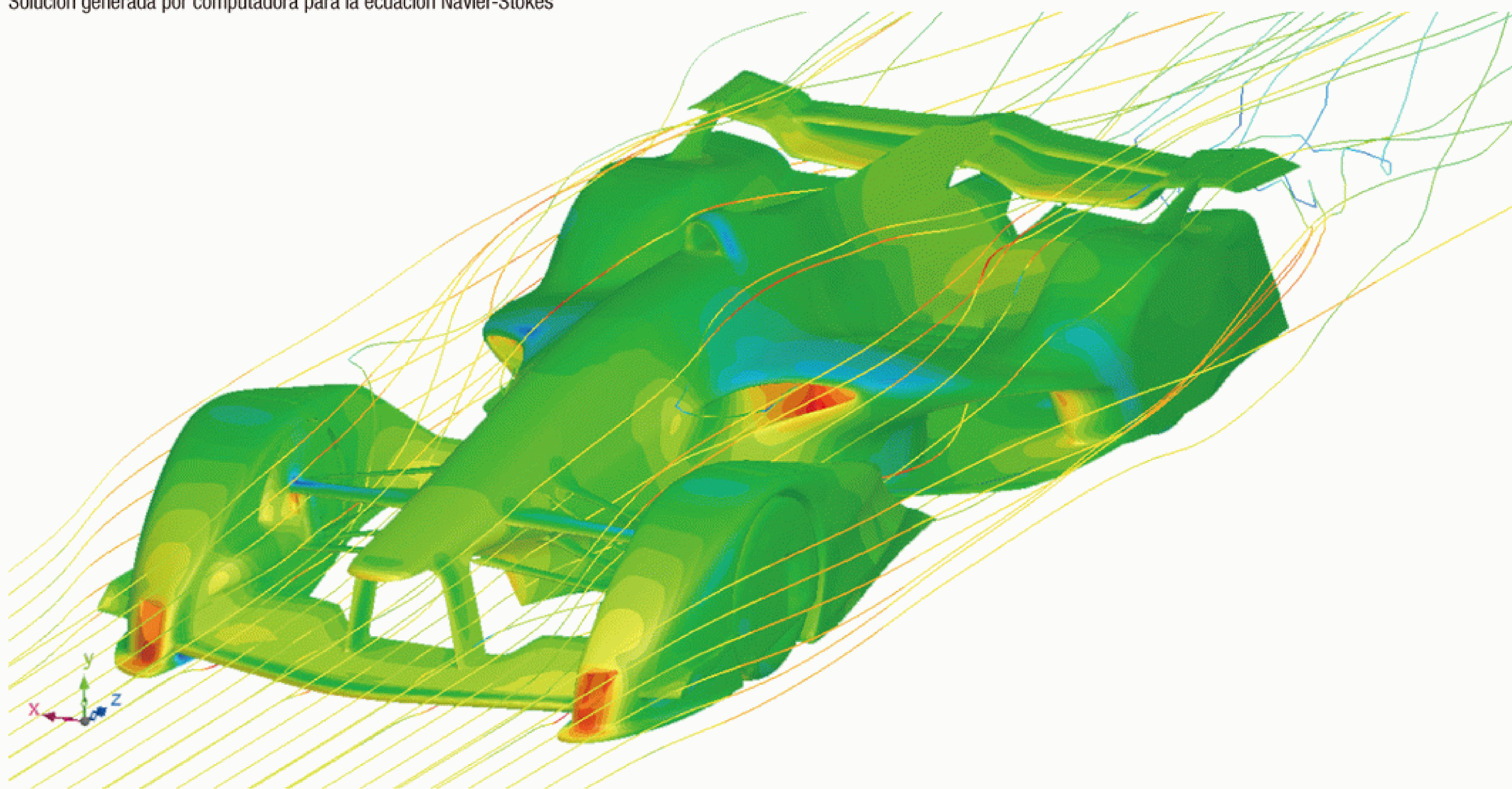
La ecuación de Euler expresó una fórmula matemática para el efecto del flujo de fluido y su relación con la presión; sin embargo, no expresó los efectos de la viscosidad, una importante propiedad de los fluidos en la vida real. La ecuación de movimiento que consideró los efectos de la viscosidad fue derivada en el siglo XIX por Claude-Louis Navier y George Gabriel Stokes. La ecuación de Navier-Stokes se expresa de la siguiente manera.

$$\rho \frac{Du}{Dt} = -\nabla P + \nabla \cdot \tau$$

Al igual que en el caso de la ecuación de Euler, la sección izquierda de la ecuación es el término advectivo (de convección) y representa el efecto de advección del fluido. La primera variable del lado derecho de la ecuación es el término de presión (arriba), que expresa el gradiente de presión. La segunda variable, añadida recientemente, se denomina "término de viscosidad" o "de difusión", y expresa la propiedad de viscosidad. En resumen, la ecuación de Navier-Stokes establece que "el fluido fluye de acuerdo con el gradiente de presión, pero la viscosidad también tiene un efecto en el momento del fluido". La ecuación de Navier-Stokes mencionada es para fluido no comprimido y no considera cambios en densidad.

**CONSEJOS** Tanto para la ecuación de Euler como para la ecuación de Navier-Stokes, aún se debe hallar una solución generalizada. Las ecuaciones solo se pueden aplicar a corrientes muy específicas y especiales (flujos). Para aplicar estas ecuaciones a campos de flujo generales se debe utilizar una computadora con la que se encuentre una solución numérica a las ecuaciones. La ecuación de Navier-Stokes no solo es un tema de investigación importante en la hidrodinámica, sino que también plantea una interrogante de modelo de importancia matemática que se utiliza en la investigación de una ecuación diferencial parcial no lineal. En el año 2000, el Clay Mathematics Institute de Estados Unidos ofreció un premio de un millón de dólares a quien pudiera resolver cualquiera de los siete problemas no resueltos por la matemática, también conocidos como "Problemas del milenio" (Premio del Milenio). Uno de los siete problemas no resueltos consistía en demostrar la existencia de una solución para la ecuación de Navier-Stokes y el concepto de uniformidad.

Solución generada por computadora para la ecuación Navier-Stokes



# 4-3 Plano de discontinuidad y filamento de vórtice

▶ Estrategia de prevención de la ecuación de movimiento de fluidos

Aunque la ecuación de Euler y la de Navier-Stokes expresan correctamente el movimiento de fluidos, debido a sus dificultades matemáticas extremas no se pueden aplicar de manera práctica al flujo de fluido real. Ya que una solución parecía lejana, se realizó un enfoque analítico sin utilizar estas ecuaciones conocidas.

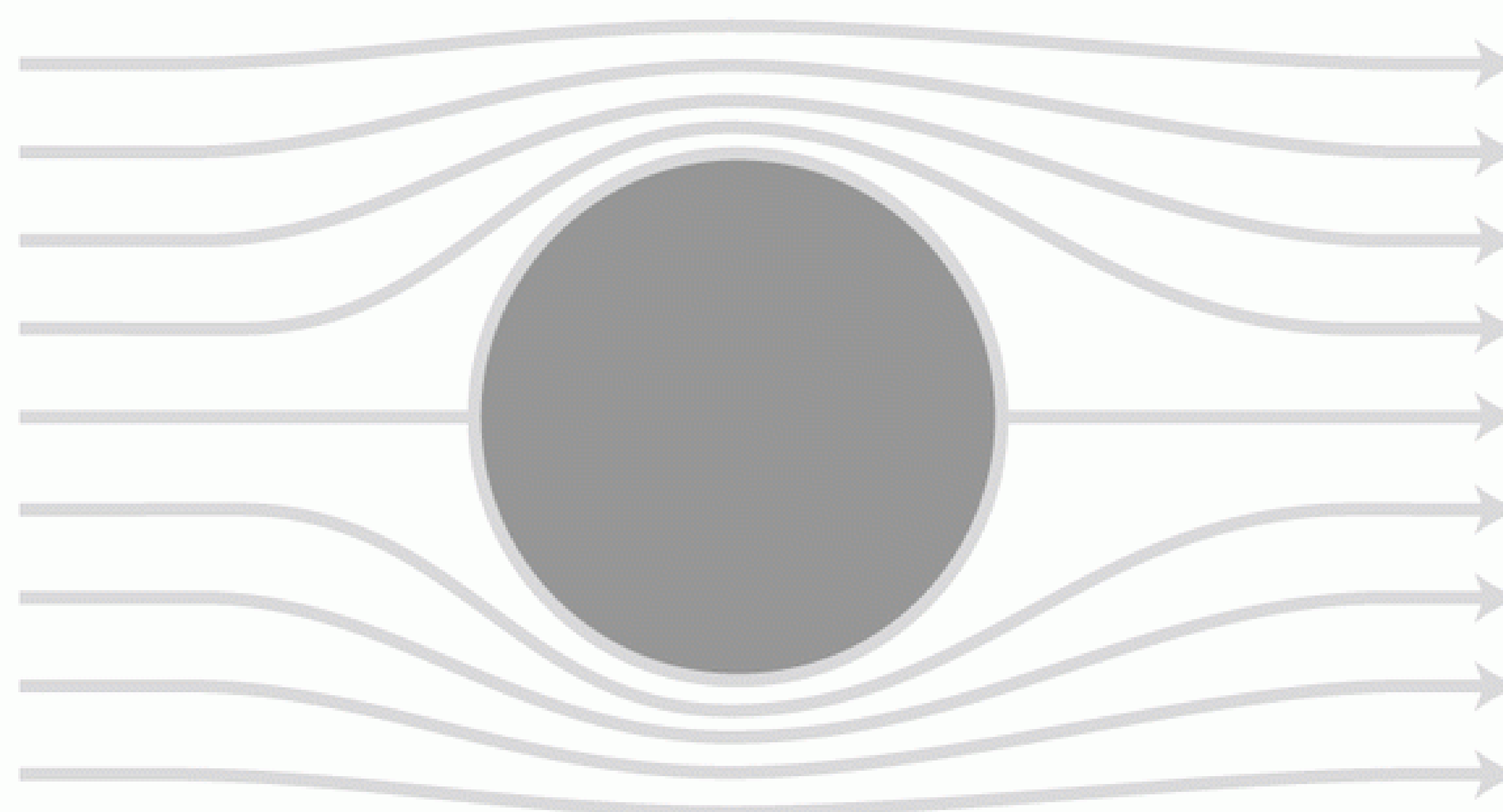
## Paradoja de D'Alembert

D'Alembert, quien conocía tanto a Bernoulli como a Euler, buscó la solución teórica para la resistencia (una fuerza que se produce en sentido paralelo a la velocidad del flujo en la dirección opuesta) generada por un cilindro circular dispuesto en un flujo bidimensional uniforme. Sin embargo, el valor de la solución que obtuvo fue cero, cuando en realidad un valor de resistencia nunca podría ser cero. No hubo errores de cálculos en su fórmula y al mismo valor de cero llegaron todos los que hicieron el intento. Durante los siguientes 160 años, la ecuación se convirtió en uno de los problemas más grandes de la hidrodinámica y pronto se conoció como "la paradoja de d'Alembert".

Con el conocimiento actual, podemos comprender que ninguno de los cálculos de d'Alembert era incorrecto y que la respuesta a la que llegó era lógica, ya que la ecuación no consideraba la viscosidad del fluido. Bajo condiciones de flujo uniforme, en las cuales la viscosidad no es un factor, el flujo delante y detrás del cilindro circular era simétrico. Por lo tanto, la presión en la parte anterior y posterior también era simétrica, con lo que se producía una cancelación mutua que daba como resultado un valor de resistencia de cero.

Por entonces, todavía no se descubría la ecuación de Navier-Stokes, por lo que la aplicación de viscosidad no era clara. Recién en 1904 la paradoja de d'Alembert fue resuelta por Ludwig Prandtl con la introducción del concepto de capa límite.

Diagrama 4-3-1 **Paradoja de D'Alembert**



Debido a que el flujo contra el centro del cilindro es simétrico, el valor de resistencia se convierte en 0.

**CONSEJOS** Los conceptos de filamento de vórtice y superficies discontinuas expandidos a varios campos de fuerza de sustentación: teoría de la circulación, teoría de la capa límite y teoría de la línea de sustentación; todas se pueden discutir en las secciones que siguen. El vórtice, en la hidrodinámica, difiere de la imagen general de una espiral. En la hidrodinámica, un vórtice se define como una forma de movimiento; una rotación muy restringida.

## El concepto de filamento de vórtice y el plano de discontinuidad

El precursor de la comprensión matemática del movimiento de fluidos fue el físico alemán Hermann von Helmholtz. Expandió el concepto de vórtice para crear una nueva manera de comprender el flujo.

Piensa en un elemento fluido que fluye de izquierda a derecha, como en el Diagrama 4-3-2. Cuando la superficie del elemento fluido se expone al esfuerzo de cizalladura (una fuerza que trabaja para cortar un material; consulta la sección 2-1), surge una diferencia en la velocidad del elemento fluido que se desplaza por la superficie. Como resultado, el elemento fluido comienza a girar y crea un vórtice. Si dicho vórtice se observa en una sección cruzada, tendría forma de filamentos conceptuales de tamaño infinitesimal. Estos se denominan filamentos de vórtice. La capa que se genera a partir de la unión de estos filamentos de vórtice se denomina la "capa de vórtice".

Implementando el concepto de filamentos de vórtice, como se ilustra en el Diagrama 4-3-3, es posible tratar en términos matemáticos los planos discontinuos de velocidad que tienen lugar cuando se unen flujos de velocidades diferentes (planos en los que la continuidad de valor cambia drásticamente) y las capas límite en las cuales la velocidad de fluido cambia drásticamente. Se puede interpretar que este flujo se forma a partir del movimiento giratorio de elementos fluidos finos, y así aplicar el mismo procedimiento matemático ya existente a un vórtice.

Cuando Helmholtz introdujo los conceptos de filamentos de vórtice y capas de vórtice, se vislumbró la posibilidad de resolver el misterio de la paradoja de d'Alembert. Inmediatamente después de que Helmholtz presentó el concepto de discontinuidad de superficie, Kirchhoff y Rayleigh comenzaron a calcular la fuerza de resistencia en un plano. Según la paradoja de d'Alembert, la fuerza de resistencia en un plano es nula. Sin embargo, si se pudiera suponer que una superficie discontinua existiera más allá de los límites anterior y posterior del plano, se podría suponer que en la superficie opuesta habría una velocidad de fluido baja, lo que anularía la existencia de la paradoja de d'Alembert. Desafortunadamente, los intentos de Kirchhoff y Rayleigh fallaron, ya que los valores de sus cálculos de presión en la supuesta superficie opuesta del plano fueron demasiado altos, pero al menos estaban encaminados en la dirección correcta.

**Diagrama 4-3-2** **Concepto de filamento de vórtice y capa de vórtice. Para ilustrar mejor el concepto de filamentos de vórtice, estos se dibujan con un tamaño determinado; sin embargo, el área de corte de un filamento de vórtice es infinitesimal**

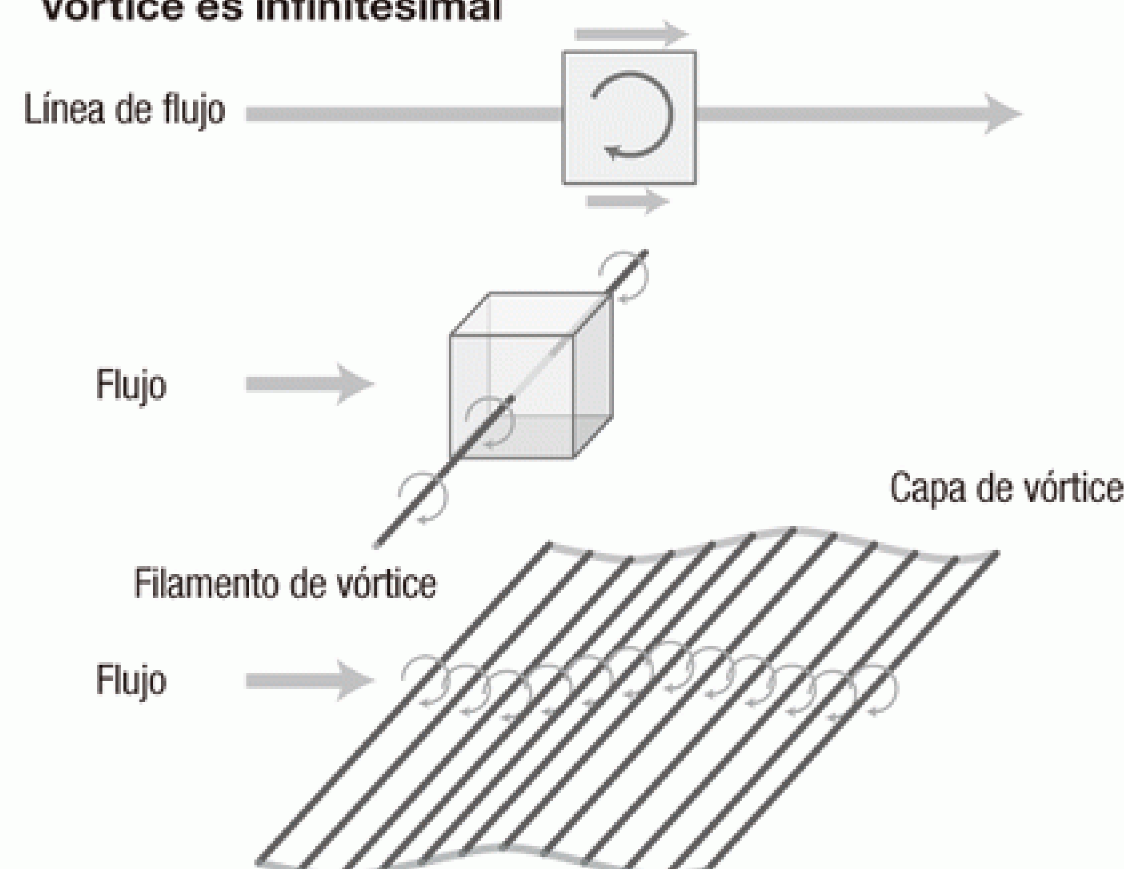



**Diagrama 4-3-3** **Diferencia de fuerza de las velocidades alta y baja en una superficie discontinua**

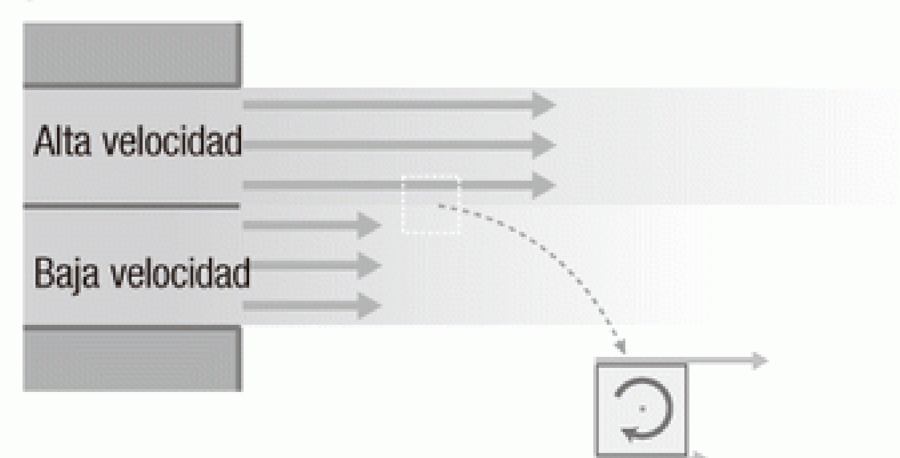
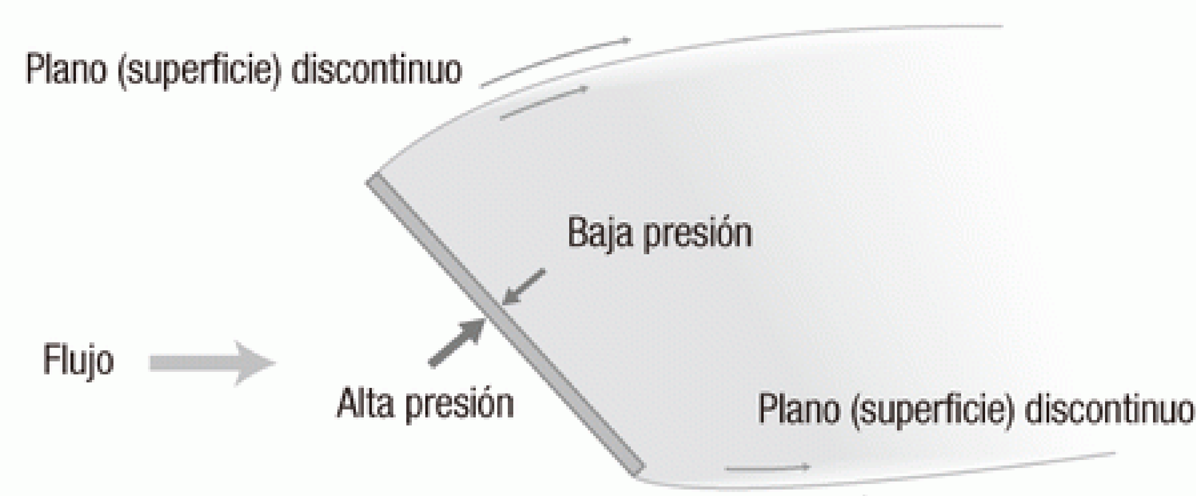



**Diagrama 4-3-4** **Aplicación del concepto de filamento de vórtice (capa de vórtice) a la velocidad de flujo de la superficie discontinua**




Se puede considerar que la capa límite forma parte de la velocidad de flujo para la superficie discontinua.

**Diagrama 4-3-5** **Diagrama conceptual de un campo de flujo en un plano (superficie plana). Si se pudiera suponer que los planos discontinuos de los límites anterior y posterior de un plano existen, la paradoja de D'Alembert no entraría en juego**



# 4 4 Teorema de Kutta-Zhukovsky

▶ Teoría de circulación de la sustentación

Kirchhoff y Rayleigh formularon una hipótesis según la cual la superficie discontinua se forma alrededor de la parte del ángulo agudo. Dicho esto, esta superficie discontinua se puede formar en cualquier parte de la superficie de un objeto, y también se puede aducir que la superficie de un objeto está cubierta de capas de vórtice. Lo cierto es que la teoría de la sustentación se relaciona considerablemente con la teoría de circulación de la sustentación.

## Teorema de Kutta-Zhukovsky

La velocidad del flujo cambia drásticamente debido a la viscosidad de la superficie de un objeto, por lo que se generan filamentos de vórtice que se convierten en capas de vórtice que envuelven la superficie de dicho objeto. La resistencia de las capas de vórtice que cubre la superficie del objeto se llama "circulación". Sobre dichas premisas, el flujo del perímetro del material se puede separar en dos flujos artificiales; uno es el flujo uniforme (corriente) y el otro es el flujo de circulación (desde una perspectiva diferente, la circulación es la cantidad que deriva de la integración de la velocidad del flujo en la curva horizontal seleccionada arbitrariamente).

Según lo discutido en el párrafo anterior, tomando como base que existe un flujo uniforme y un flujo de circulación, consideremos un flujo en el que ambos tengan lugar simultáneamente y se superpongan. En este ejemplo, la parte superior del flujo de circulación fluye en la misma dirección que el flujo uniforme, por lo que la velocidad del flujo en la parte superior aumenta. Por otra parte, el flujo de circulación en la parte inferior fluye en dirección opuesta a la del flujo uniforme, de modo que cuando se superponen la velocidad del flujo disminuye. Como resultado, según la teoría de Bernoulli, la presión en la parte superior del flujo de circulación disminuye y en parte la inferior de este aumenta, lo que genera una sustentación ascendente. (Diagrama 4-4-1).

Este modelo, de hecho, se asemeja al campo de flujo que rodea a un perfil aerodinámico. El perfil aerodinámico está hecho para establecer una correspondencia con el aumento de velocidad del flujo en la parte superior de la superficie, lo que disminuye la presión, y la disminución de la velocidad del flujo en la superficie inferior aumenta la presión. Se puede considerar que el campo de flujo alrededor del perfil aerodinámico es una superposición del flujo uniforme y el flujo de circulación, y si existe circulación la sustentación se puede calcular con la siguiente ecuación.

**Sustentación = Densidad de flujo x Velocidad de flujo uniforme x Circulación de vórtice ($L=\rho V\Gamma$)**

Martin Wilhelm Kutta y Nikolai Zhukovsky introdujeron de manera independiente esta teoría, por ello se denomina "Teoría Kutta-Zhukovsky". Esta teoría establece que, sin importar la forma y el tamaño del objeto, si existe circulación se puede determinar la sustentación de dicho objeto.

**Diagrama 4-4-1** Campo de flujo con flujo uniforme y flujo de circulación superpuestos

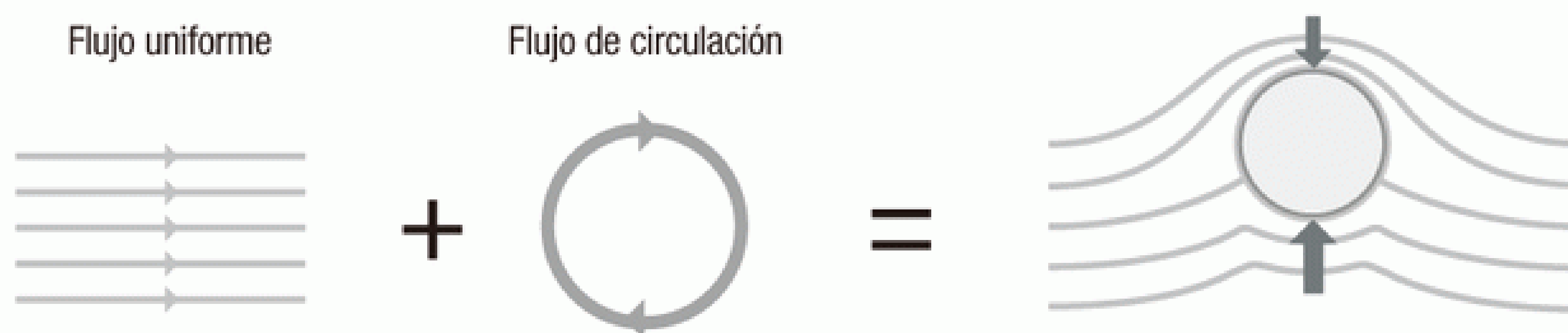
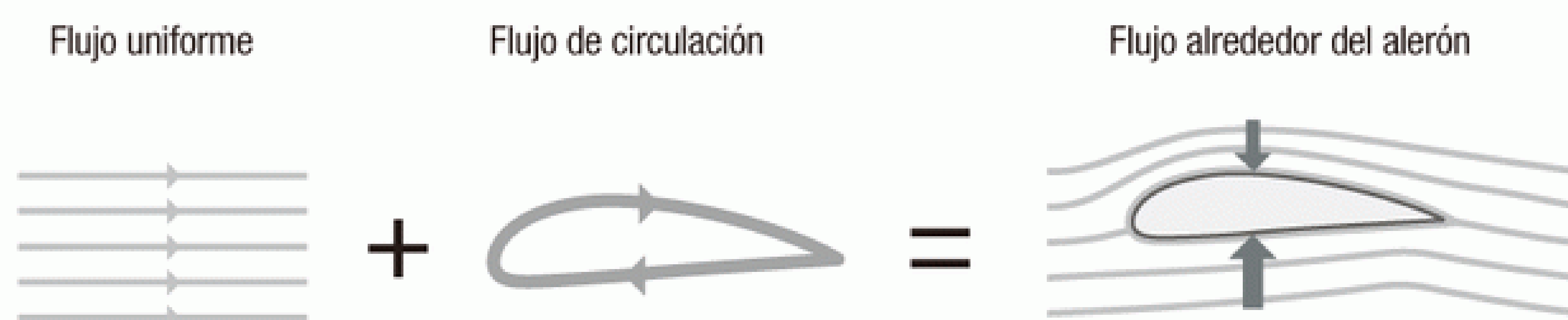



**Diagrama 4-4-2** Se puede decir que el campo de flujo de un perfil aerodinámico es una combinación de flujo uniforme y flujo de circulación



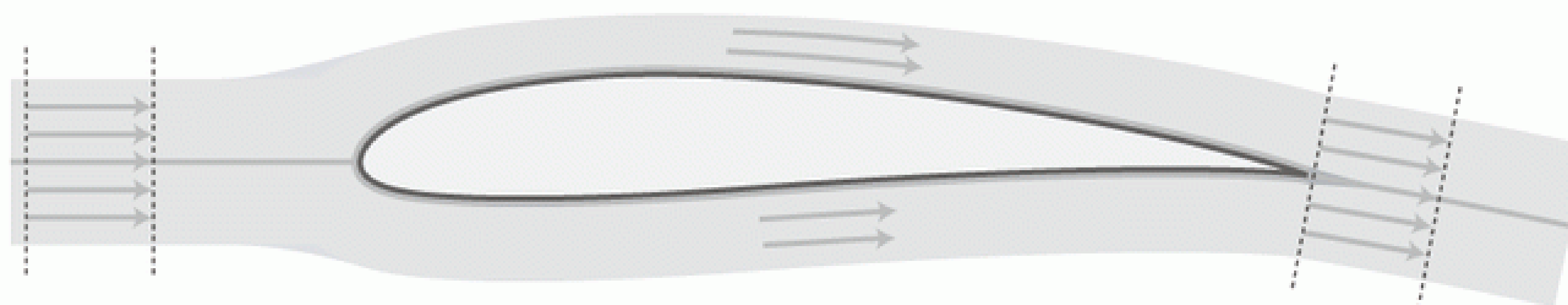
## Condición de Kutta

A partir de la teoría de Kutta-Zhukovsky, hemos determinado que la sustentación de un objeto se puede calcular si la circulación alrededor de dicho objeto se conoce. Sin embargo, para implementar esta teoría a un perfil aerodinámico, se debe considerar un factor. En general, la ecuación de fluidos se basa en el concepto de que el flujo es uniforme y se debe tener una consideración especial si el objeto tiene un borde agudo o el flujo es discontinuo.

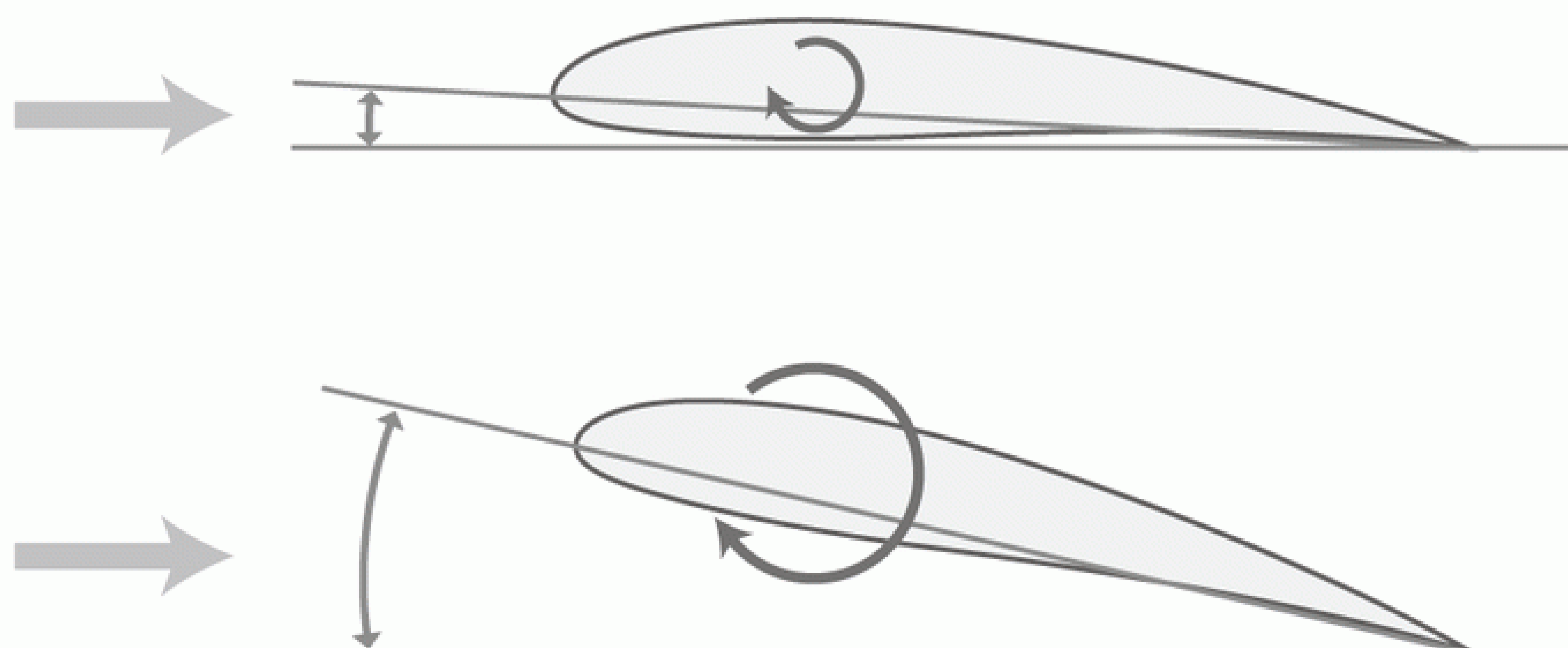
Cuando se toma como ejemplo un perfil aerodinámico, el borde trasero de este es agudo. De esta manera, a menos que el flujo de la parte superior e inferior del perfil aerodinámico puedan convergir de manera uniforme en el extremo trasero, la teoría de Kutta-Zhukovsky no se puede aplicar a un perfil aerodinámico. Esta condición necesaria por la que el flujo superior e inferior deben convergir suavemente se denomina "condición de Kutta". Aplicando la condición de Kutta, la circulación finalmente se puede determinar y la sustentación se puede calcular matemáticamente.

Si se establece un ángulo de ataque del alerón en contra del flujo, cuanto más grande es el ángulo, más circulación se requiere para que se cumpla la Condición Kutta. Por lo tanto, cuanto más grande es el ángulo de ataque, mayor es la circulación; de esta manera, se crea una mayor sustentación naturalmente.

Diagrama 4-4-3 **Condición de Kutta y circulación**



Condición de Kutta: los flujos de la parte superior e inferior del alerón convergen en el borde trasero suavemente y a la misma velocidad.



Cuanto más grande es el ángulo de ataque, más circulación se requiere para que se cumpla la condición de Kutta.

# 4-5 Teoría de la capa límite de Prandtl

▶ La fricción solo afecta las proximidades de la superficie de un objeto.

Aunque los cálculos de resistencia de Kirchhoff y Rayleigh no tuvieron éxito, estaban encaminados de manera correcta. A continuación introduciremos la teoría de la capa límite de Prandtl que finalmente resolvió la paradoja de d'Alembert.

## Teoría de la capa límite de Prandtl

Para calcular correctamente la resistencia, es crucial conocer la presión y el modo en que se maneja la fuerza de fricción. Para comprender la fuerza de fricción, se debe conocer correctamente la condición de flujo en la superficie del objeto. Pero aún resta despejar las dudas respecto de cómo calcular la fuerza de fricción de manera adecuada, si un fluido puede adherirse por completo a la superficie de un objeto cuando la velocidad de fluido es nula o si el fluido se desliza por encima de la superficie a una velocidad cualquiera.

Ludwig Prandtl abordó este asunto difícil al ser el primero en aplicar el concepto de la capa límite. Descubrió que los efectos de la viscosidad hacían que la velocidad del flujo en la superficie de un objeto fuera nula; los efectos de la fricción solo tenían efecto sobe las proximidades de la superficie del objeto. Fuera de esto, el flujo no se ve afectado por la viscosidad y se puede definir como un fluido no viscoso. El área de las proximidades de la superficie del objeto afectada por la viscosidad se conoce comúnmente como "capa límite".

En 1904, Prandtl publicó un informe corto de ocho páginas titulado "Flussigkeitsbewegung Bei Sehr Kleiner Reibung" (Flujo de fluidos con muy poca fricción), en el que introdujo por primera vez el concepto de capa límite. Se aplicó la ecuación de Navier-Stokes únicamente a un flujo en particular en la capa límite. Esto derivó en la creación de la ecuación de la capa límite, una ecuación simplificada derivada de la ecuación de Navier-Stokes. Esta ecuación era mucho más fácil de manejar que la ecuación completa de Navier-Stokes y permitió un cálculo más lógico y adecuado de la resistencia.

La teoría de la capa límite también permitió calcular mejor el punto de exfoliación del flujo (desprendimiento). Con estos descubrimientos, la paradoja de d'Alembert se resolvió finalmente con la teoría de la capa límite de Prandtl. El ensayo de 1904 de Prandtl propició la expansión del enfoque de hidromecánica y ahora se considera como uno de los ensayos más importantes de la historia del campo.

**Diagrama 4-5-1** **Distribución de velocidad de la capa límite de una superficie de perfil aerodinámico. El rango de la capa límite se define como un valor inferior al 99 % de la velocidad del fluido fuera de las proximidades de la superficie de un objeto**

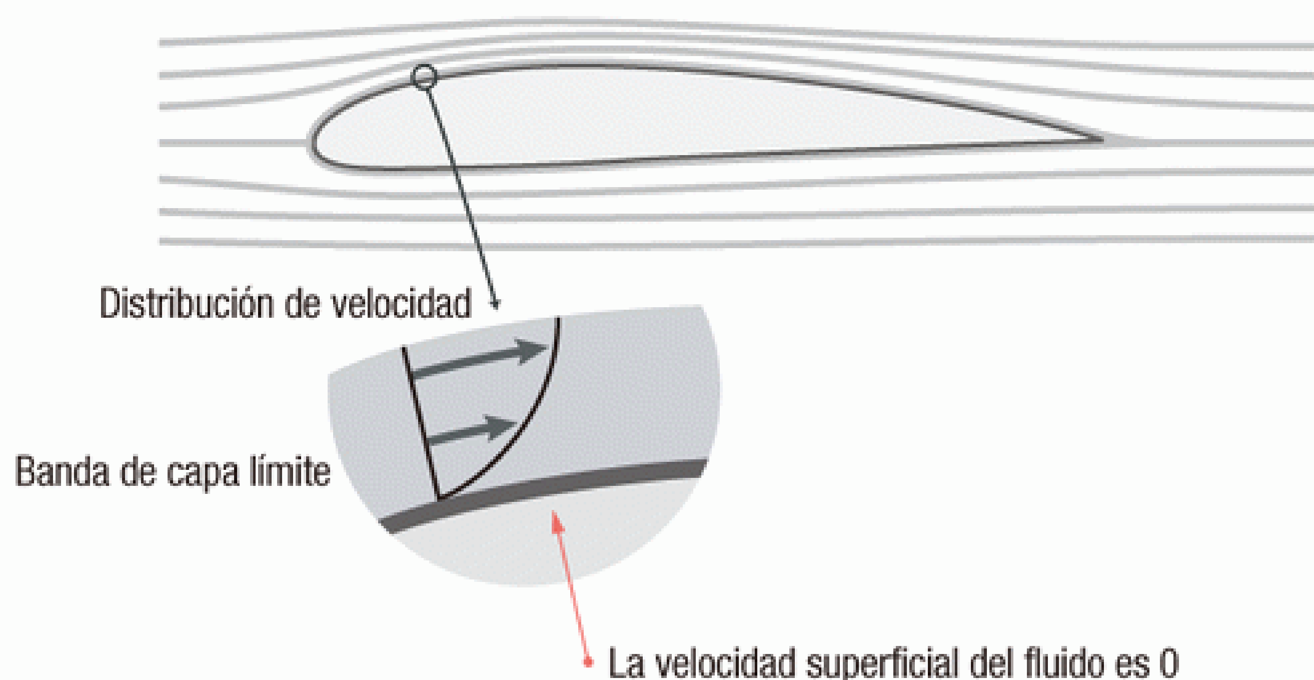



**Diagrama 4-5-2** **Punto de exfoliación en un perfil aerodinámico y distribución de velocidad en la capa límite**

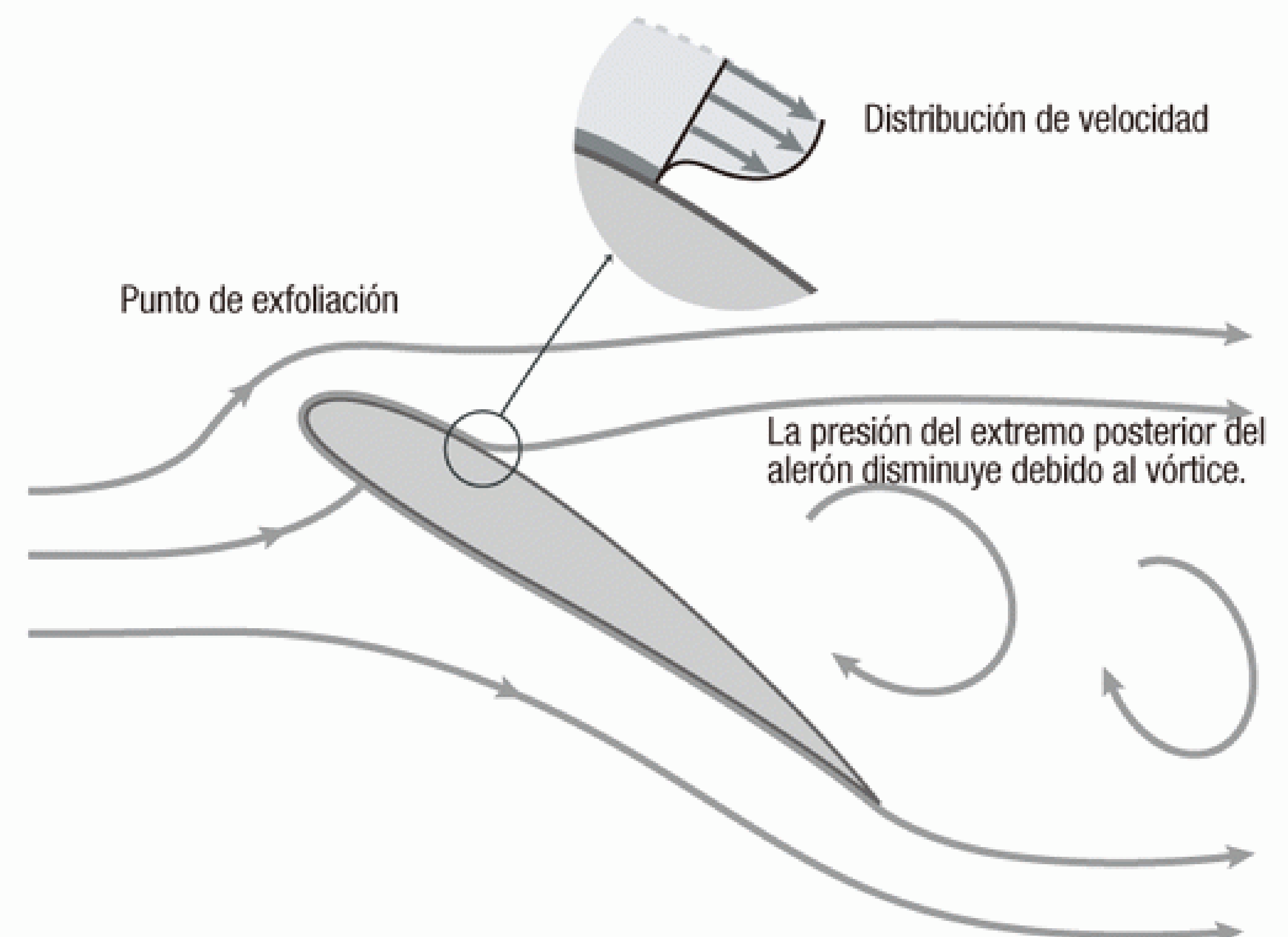
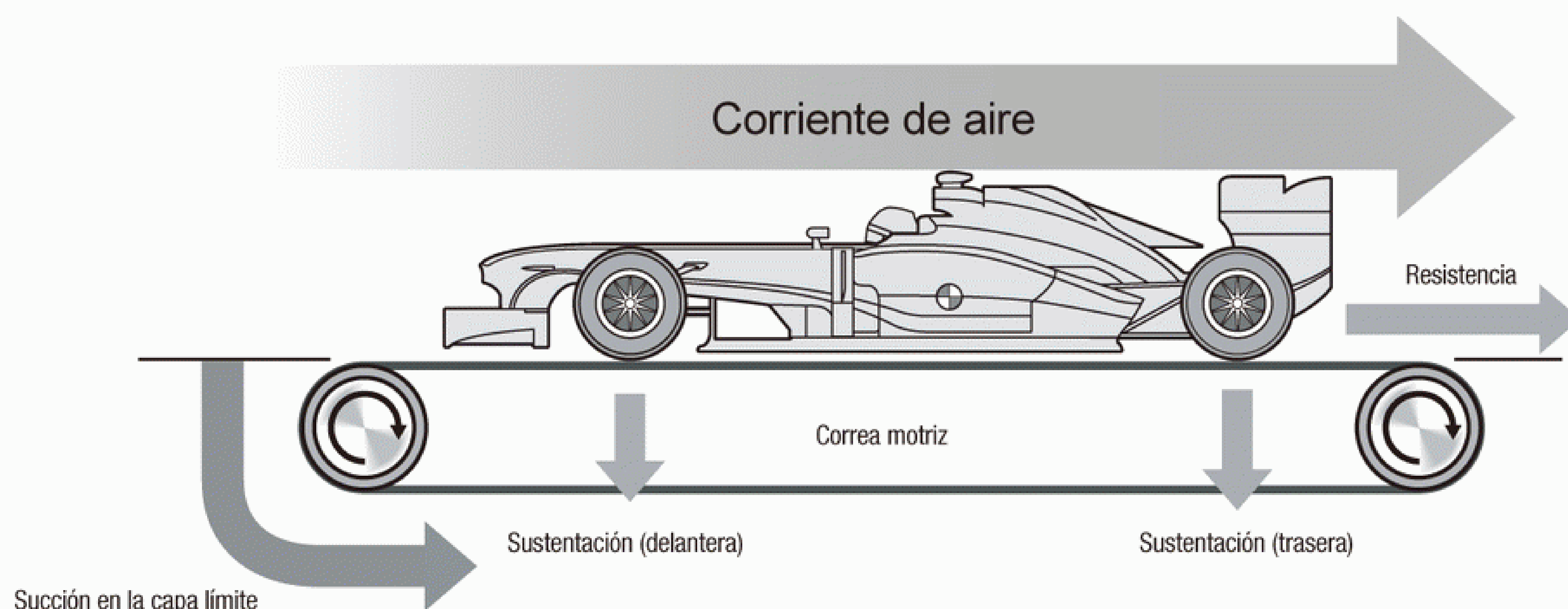


**Diagrama 4-5-3** **Un vehículo que se desplaza sobre la tierra se ve enormemente afectado por el suelo en términos de aerodinámica. En un entorno exterior natural, una capa límite no existiría en las proximidades de la superficie, debajo del vehículo. Sin embargo, en una prueba de túnel de viento se forman capas límite en las paredes del túnel. La velocidad de flujo es reducida en la capa límite y, como resultado, en esencia bloquea el pasaje de flujo debajo del vehículo. Esto crea un campo de flujo completamente diferente en el túnel, en comparación con el entorno exterior. Para que en los autos de carreras de diseño delicado se generara una carga aerodinámica entre la parte inferior y el suelo, dicha diferencia en el campo de flujo se convirtió en un asunto de importancia. A modo de solución, se introdujo una cinta móvil en el túnel de viento para imitar el entorno exterior de la superficie de la carretera. La cinta móvil no solo ayuda a reproducir el movimiento giratorio de los neumáticos, también evita la formación de una capa límite debajo del vehículo en el túnel de viento**




**CONSEJOS** Originalmente, Prandtl utilizó dos frases para describir su concepto. Uno fue “capa límite” y el otro “capa de transición”. De hecho, utilizó la última frase con mayor frecuencia. Sin embargo, los alumnos de Prandtl utilizaron la frase “capa límite” con mayor frecuencia y es la única que perdura en la actualidad.

**CONSEJOS** No es posible exagerar al hablar de la contribución que Prandtl hizo a la hidromecánica. Además de la teoría de la capa límite, Prandtl introdujo la teoría de la línea de sustentación, la hipótesis de la longitud de mezcla y la teoría de la onda de choque a velocidad supersónica, todas ellas devenidas en principios estructurales de la hidromecánica moderna. A su vez, de la clase de Prandtl surgieron graduados de gran nivel como Blasius, Karman y Munk, quienes se convirtieron en especialistas muy reconocidos en el campo de la hidromecánica.



# 4-6 Teoría de la línea de sustentación de Prandtl

## ▶ Generación del vórtice de la punta del alerón en alerones de envergadura finita

De la mano de Kutta y Zhukovsky nació la teoría de circulación de la sustentación y se hizo posible el cálculo preciso de la sustentación de un flujo bidimensional. Sin embargo, los alerones, y sus flujos y circulaciones son tridimensionales, de modo que el flujo bidimensional no se puede aplicar tal como es. Se debió estructurar una teoría nueva sobre la fuerza de sustentación en un campo de flujo tridimensional.

### Flujo alrededor de una envergadura limitada

Como se explicó anteriormente, un perfil aerodinámico es un alerón con envergadura infinita. Un alerón con una envergadura infinita tendrá una circulación de igual tamaño sin importar la ubicación en el alerón y la sustentación también será constante. Así pues, la teoría de Kutta-Zhukowsky se puede aplicar directamente a un alerón con una envergadura infinita.

Dicho esto, un alerón real tiene una envergadura limitada. En el borde del alerón, el flujo intentará desplazarse desde la parte inferior del alerón, donde la presión es alta, hasta la parte superior de este, donde la presión es inferior. Por lo tanto, la distribución de presión en la superficie de un alerón de envergadura limitada difiere en comparación con el modelo de alerón de envergadura infinita y la sustentación disminuye a medida que se acerca a la punta del alerón. El flujo circula desde el lado de presión alta hasta el lado de presión baja, generando un vórtice vertical a medida que circula corriente abajo. El vórtice que se genera en la punta del alerón se denomina “vórtice de la punta del alerón”.

**Diagrama 4-6-1 Flujo alrededor del alerón con envergadura limitada**

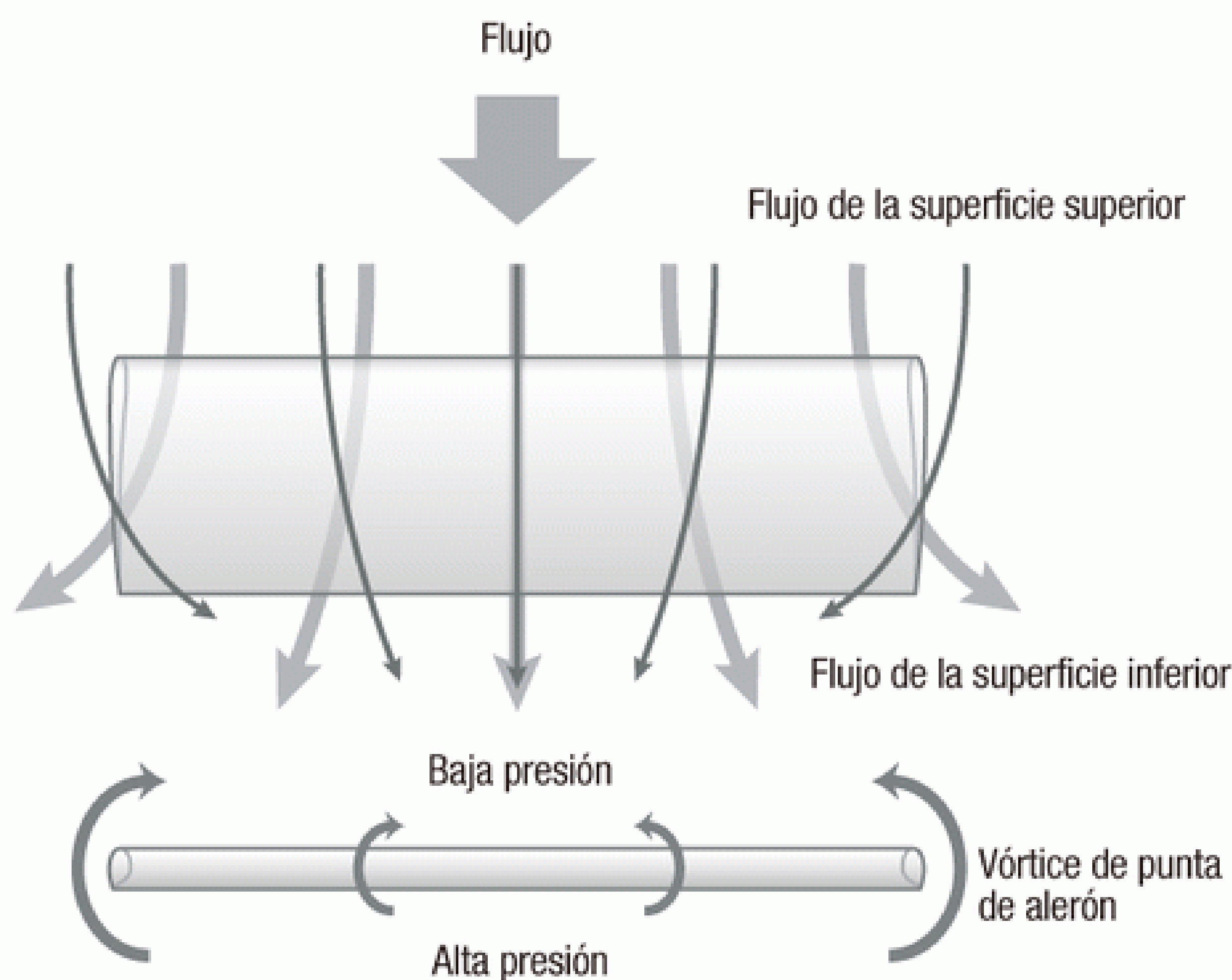



**Diagrama 4-6-2 Circulación y sustentación de alerones con envergadura infinita y envergadura limitada**

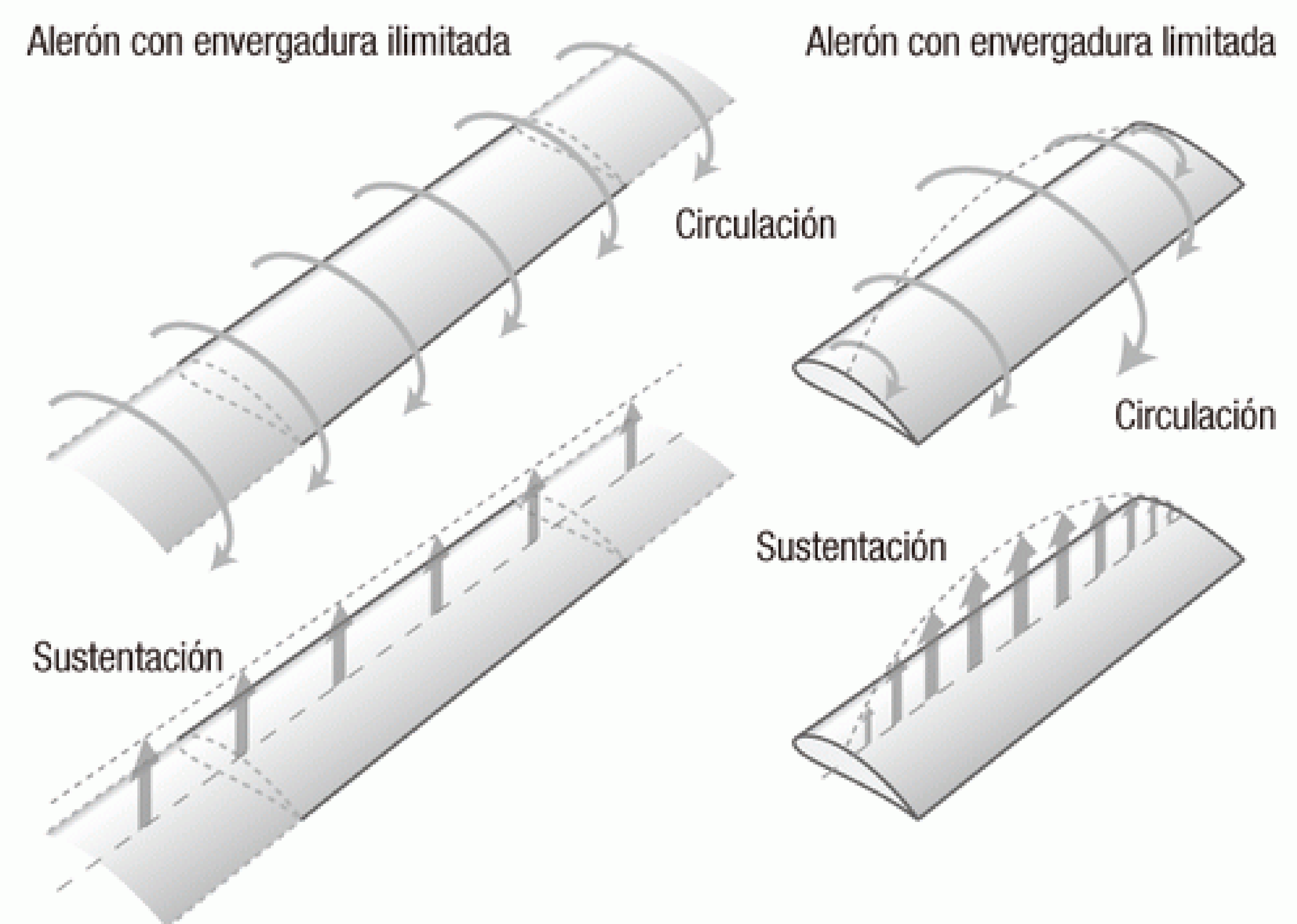
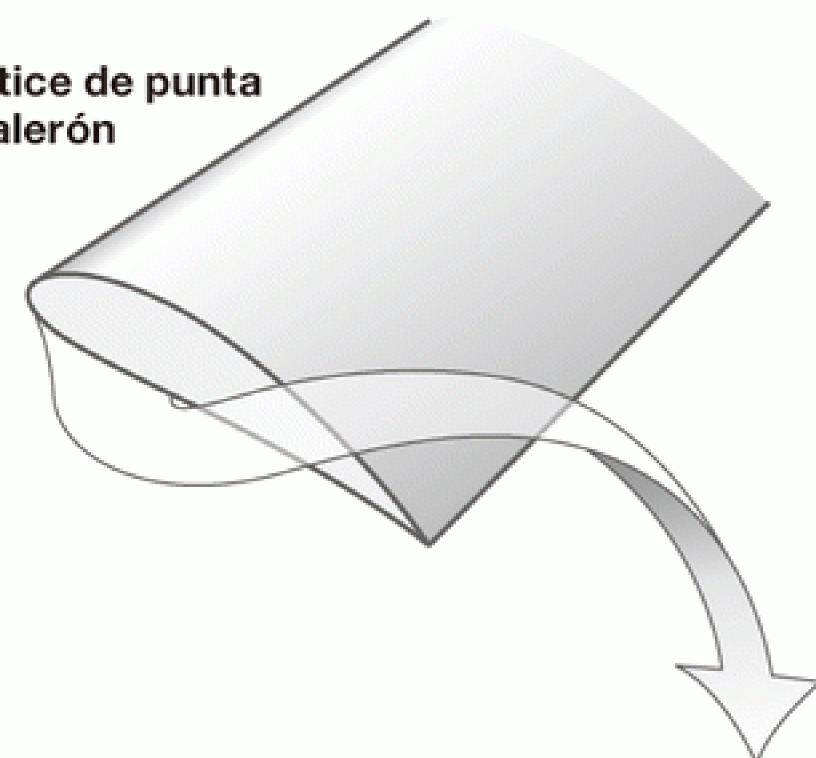



**Diagrama 4-6-3 Vórtice de punta de alerón**



## Teoría de la capa límite de Prandtl

Utilizando el concepto de filamento de vórtice de Helmholtz, un inglés llamado Frederick Lanchester produjo un modelo de flujo alrededor del alerón con una envergadura limitada. Formuló la suposición de que se generaba circulación alrededor del alerón por efecto de filamentos de vórtice y que los filamentos de vórtice se inclinaban hacia la corriente descendente del flujo en la punta del alerón, creando así una circulación nueva. Creía que el flujo alrededor de un alerón con una envergadura limitada consistía en una "corriente ascendente de flujo", una "capa de vórtice paralela a la punta del alerón" y un "flujo de filamento de vórtice que va desde la punta del alerón hasta la corriente descendente". Al combinar estos elementos de flujo, Lanchester creyó que la sustentación de un alerón con envergadura limitada se podría derivar. Sin embargo, no pudo dar una expresión matemática precisa a su teoría y la comunidad académica de ese momento no la aprobó.

Prandtl, quien también había creado la teoría de capas límite, completó la teoría para un alerón con envergadura limitada. La teoría de sustentación de Prandtl para un alerón con envergadura limitada fue muy similar al modelo de Lanchester, pero pudo aportar un razonamiento matemático para respaldarla.

El modelo de Prandtl se basó en filamentos de vórtice de debilidad infinita, unidos en cantidades infinitas y dispuestos en la superficie del alerón, inclinados corriente abajo. Estos filamentos de vórtice se denominan "líneas de sustentación".

La teoría de la línea de sustentación de Prandtl permitió calcular la fuerza de sustentación y el par motor que se pueden generar en un alerón con envergadura limitada. Además, se confirmó la existencia de resistencia inducida por el flujo inducido del vórtice de la punta del alerón. Esto ayudó a demostrar teóricamente que la resistencia inducida se reducía cuando la envergadura (radio de aspecto) de un alerón aumentaba.

**CONSEJOS** El vórtice de punta de alerón, como se ilustra en el Diagrama 4-6-3, se produce cuando la alta presión debajo del alerón genera un flujo ascendente en dirección a la superficie superior de este, donde la presión es inferior. Para que el vórtice de punta de alerón se genere, debe existir una fuente de energía constante. Si dicha energía es generada por un motor, significa que existe desperdicio en el consumo de combustible. En el mundo real, el flujo inducido y el vórtice de punta de alerón combinados afectan el campo de presión del alerón, lo que genera resistencia inducida por presión. Debido a que esta resistencia se genera a partir del flujo inducido por la sustentación, se denomina "resistencia inducida". Prandtl indicó que el vórtice de punta de alerón reduce la sustentación. Esto se debe a que el flujo inducido del vórtice reduce el efecto del ángulo de ataque. También se debe observar que el vórtice de punta de alerón fue descubierto por Lanchester. (Diagrama 4-6-5).

**Diagrama 4-6-4** Diagrama conceptual de la teoría de la línea de sustentación

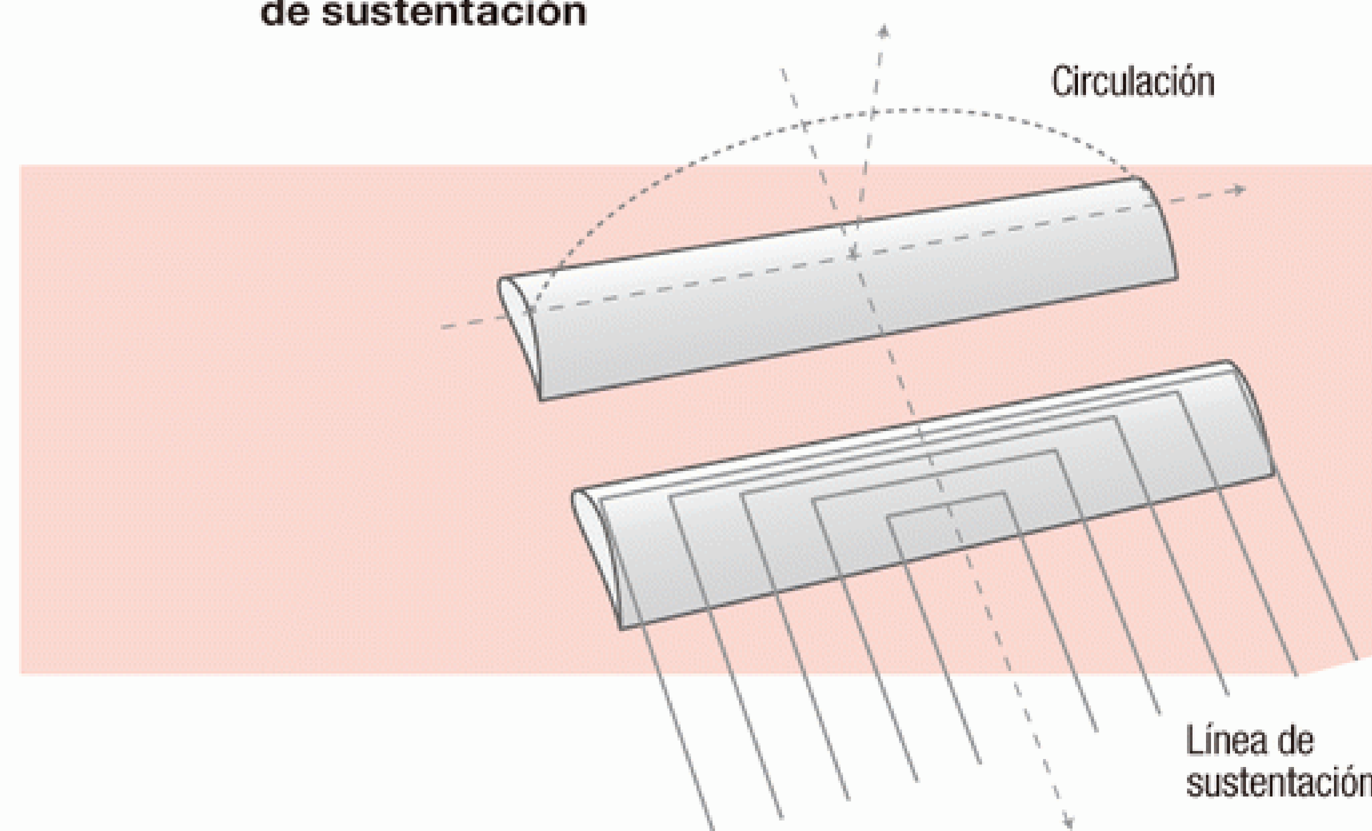



**Diagrama 4-6-5** Ilustración de Lanchester del vórtice alrededor del alerón

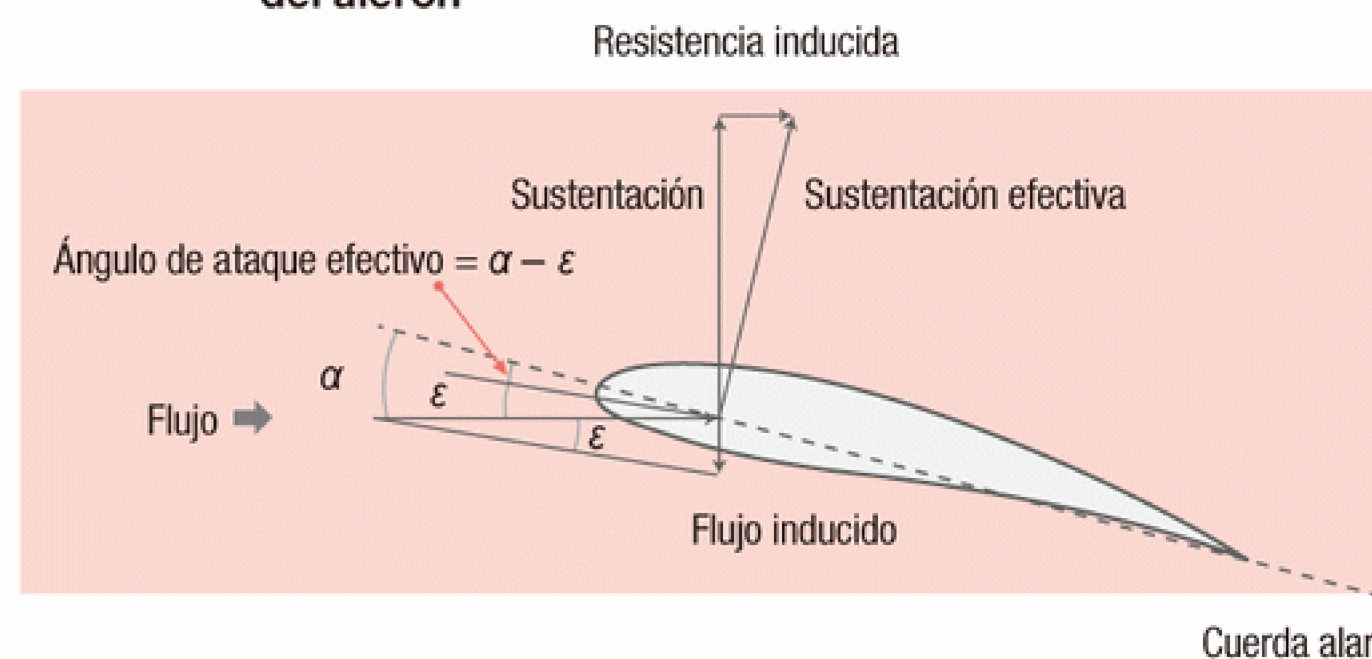
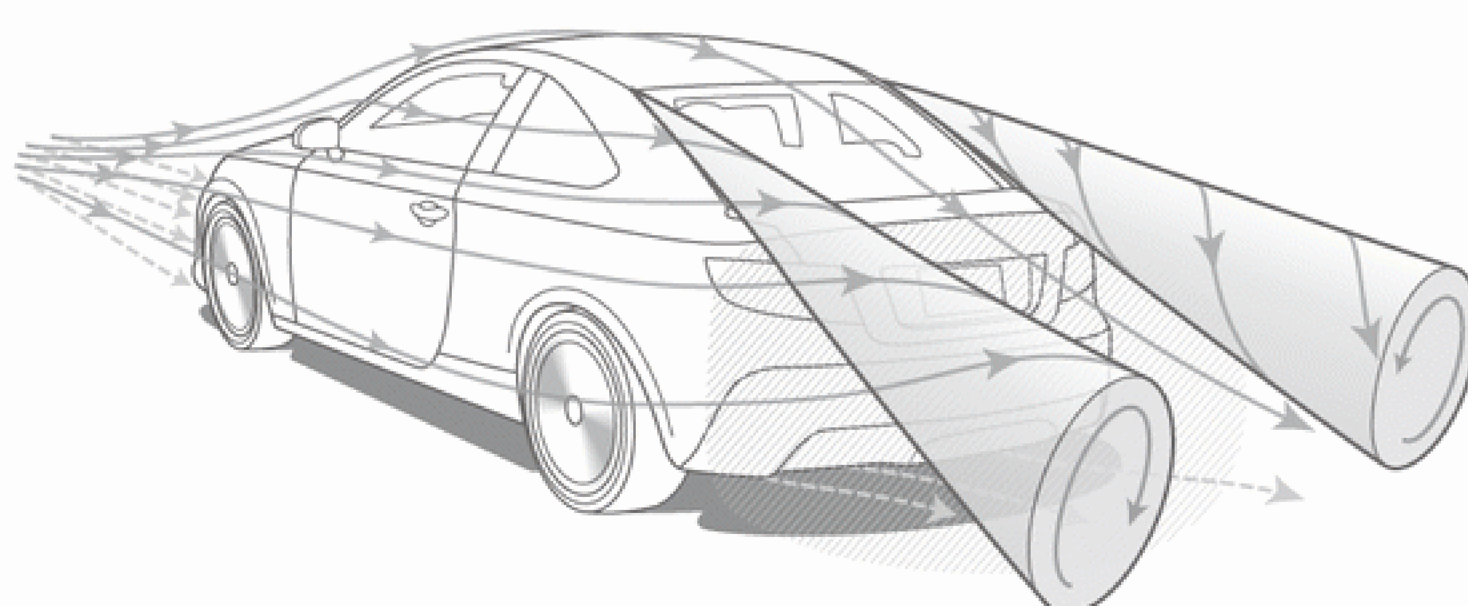



**Diagrama 4-6-6** Vórtice longitudinal que se genera desde el chasis de un auto



# 5 1 El mundo de la CFD

## ▶ CFD: un mundo de planteos discretos

La introducción a la teoría de la aerodinámica en la sección anterior debería haber dejado en claro que para comprender en su totalidad el concepto de campo de flujo es necesario resolver ecuaciones de fluidos, como la ecuación de Navier-Stokes. A fines del siglo 20, grandes avances en el área fueron posibles gracias al uso de computadoras para resolver ecuaciones de fluidos.

Este es el campo de la "Mecánica de fluidos computacional" (o mecánica de fluidos numérica), a menudo denominada "CFD". La CFD ha sido una herramienta de desarrollo automotor esencial durante un tiempo, aunque el público en general no la conoce bien. Para comprender los aspectos básicos del funcionamiento de la CFD, veamos brevemente los conceptos teóricos que la sustentan.

### Aproximación

El mundo real es de carácter analógico. Una manera de verlo es imaginar a una continuidad fluida, de modo que cualquier punto determinado en una continuidad de espacio-tiempo infinita produce alguna especie de datos físicos. Incluso en la mecánica de fluidos teórica, el fluido básicamente se considera como una continuidad fluida y siempre cambiante. Por otra parte, las computadoras son digitales, con lo que solo pueden manejar valores fragmentados o discontinuos y almacenar información limitada. Por lo tanto, la CFD divide la continuidad fluida de espacio y tiempo, y la maneja en forma discontinua. Ten en cuenta, sin embargo, que el propósito de la CFD es representar la continuidad fluida del mundo real con la mayor precisión posible. Para hacerlo, la información que no contienen las computadoras se debe modelar y complementar.

Entonces, ¿cómo se complementa esta información faltante? Esto se realiza simplemente vinculando la información dentro de la computadora con una línea recta y tratando los datos como algo que se modifica en esta línea recta. La complementación también se puede lograr utilizando un modelo de línea curva en el que se muestren los cambios en forma de curva y pueda faltar información. Este proceso, por el que se simplifica la información sin perder las propiedades originales, se denomina "aproximación" y el proceso por el que se obtiene un valor cercano al original al utilizar esta aproximación se denomina "de valor aproximado". En la CFD, el método de aproximación anterior se denomina "esquema".

**Diagrama 5-1-1** La diferencia entre el mundo real y el mundo de la CFD

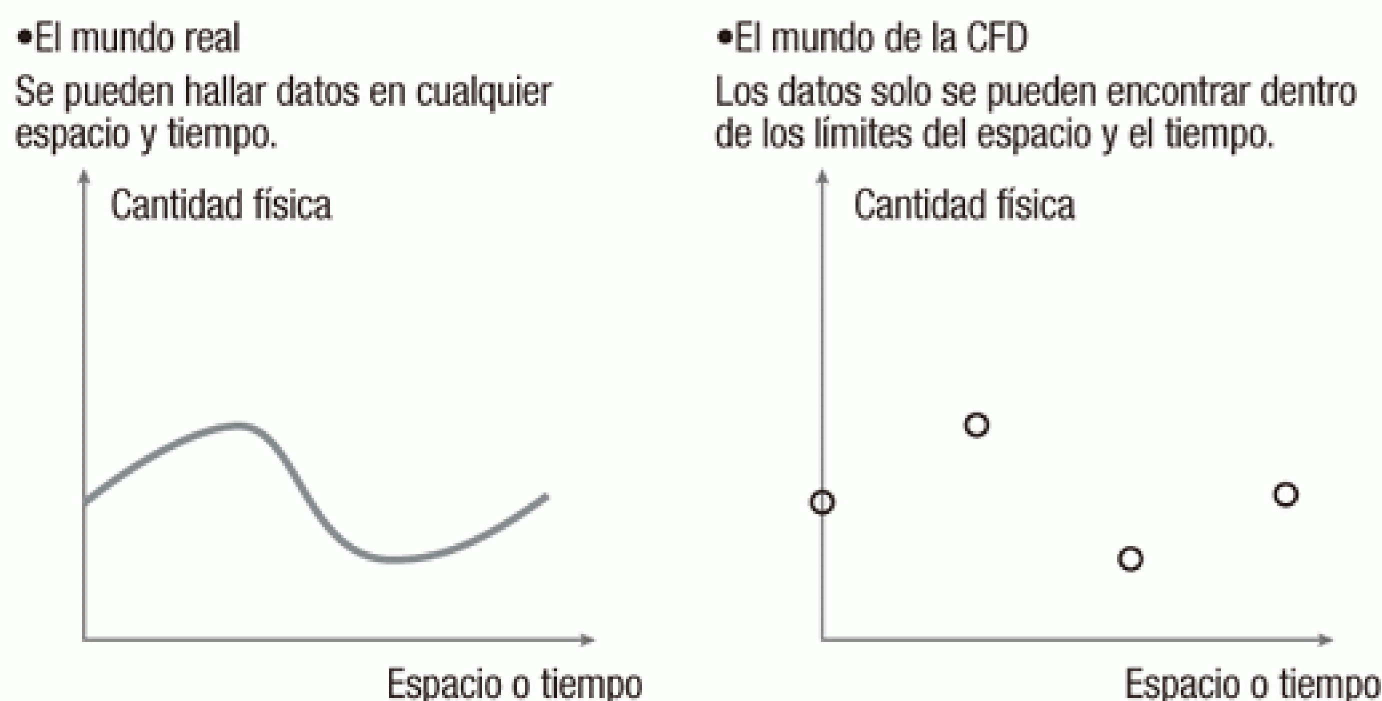
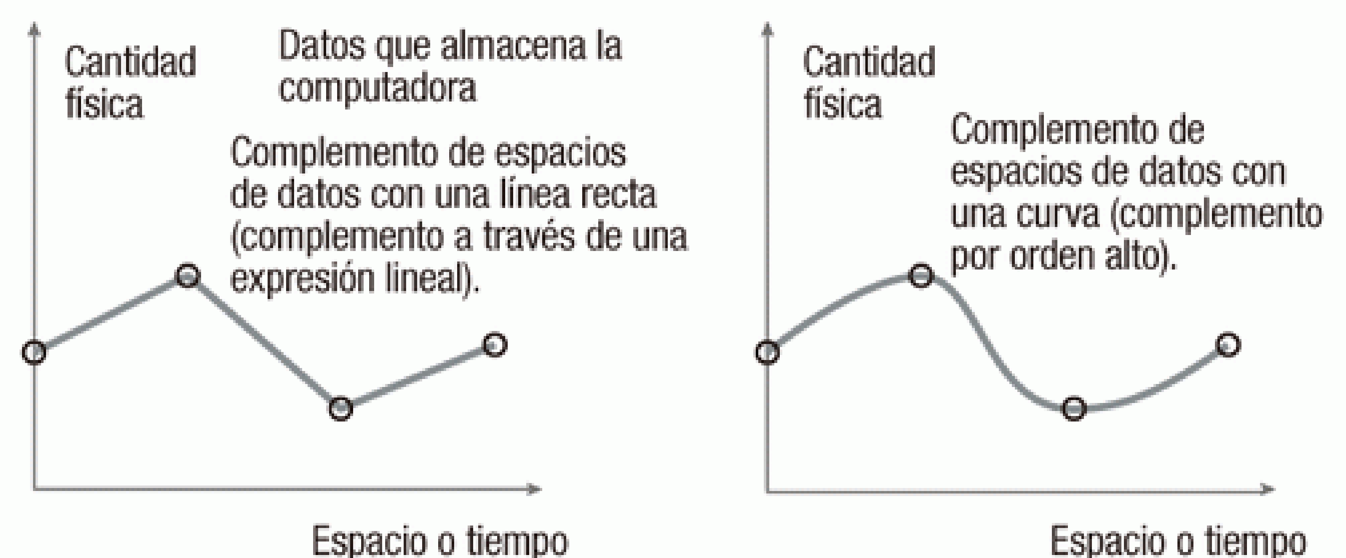



**Diagrama 5-1-2** Complementación de datos faltantes de computadoras

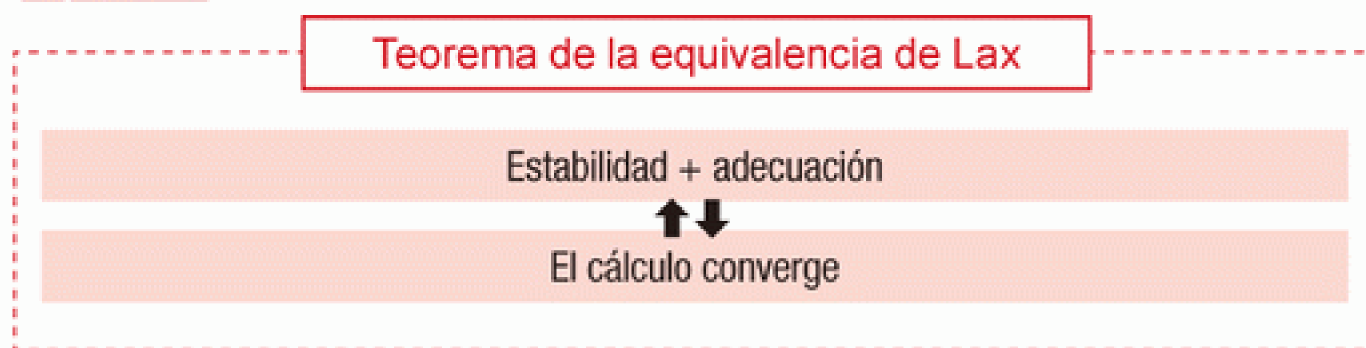


## El teorema de la equivalencia de Lax

Debido a que las computadoras contienen información acerca del tiempo y el espacio en el mundo real, los resultados de los cálculos obtenidos a través de la CFD son de valor aproximado. Sin embargo, si la diferencia del valor real es suficientemente reducida, desde un punto de vista práctico, en esencia no existen problemas. Por ejemplo cuando la velocidad de flujo promedio en un campo de flujo es de 30 m/s, no tiene sentido considerar un valor de dígitos de 0,000001. Una persona que analice un flujo de 30 m/s a 30,000001 m/s los consideraría como prácticamente el mismo valor. Por lo tanto, tales valores de dígitos mínimos se pueden ignorar y, asimismo, si de los resultados de la simulación surgen diferencias mínimas similares, mientras estas sean suficientemente mínimas, no hay motivos para que existan problemas. Para expresar esto en términos técnicos, el resultado de cálculo de una simulación es aceptable mientras se haga "convergir" con el valor verdadero.

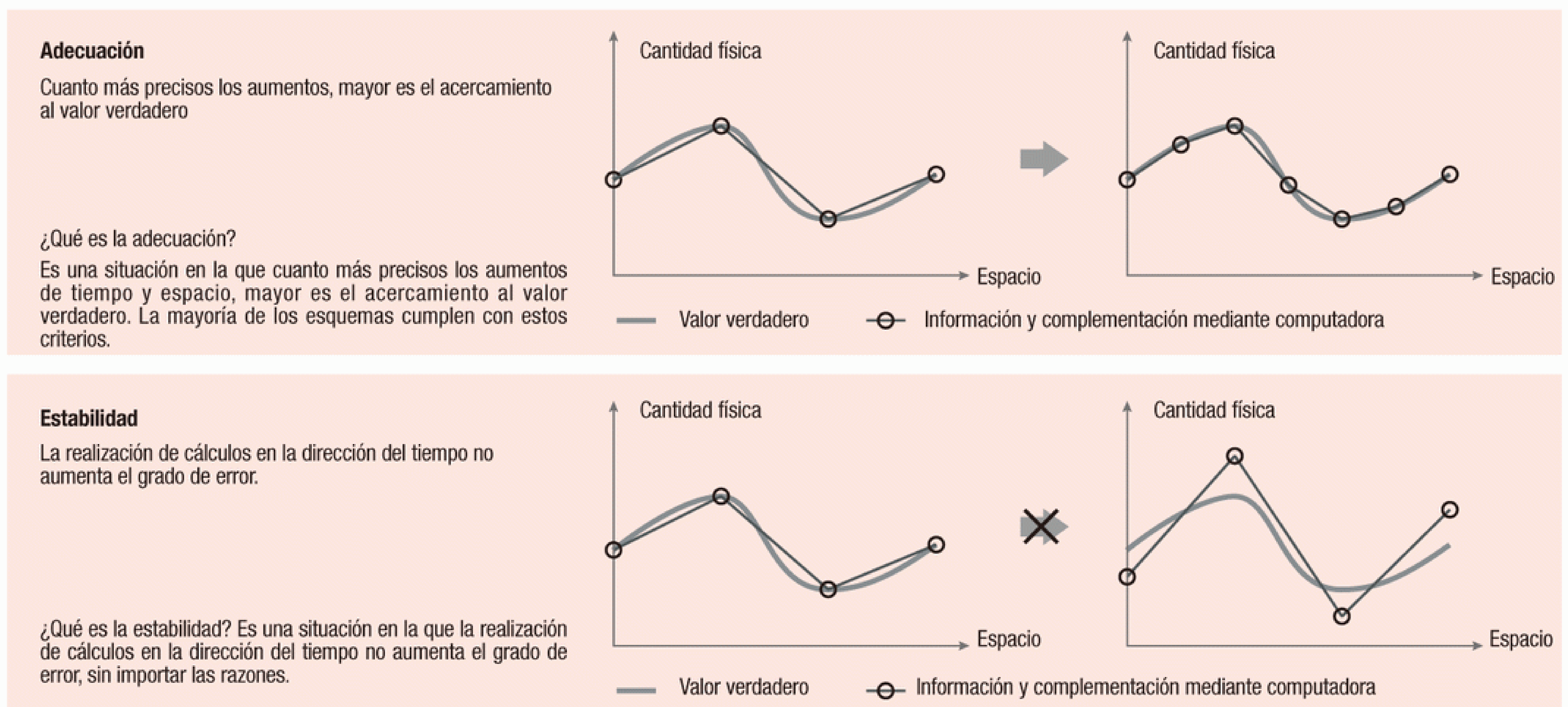
Por ello, veamos un teorema importante conocido como el "Teorema de la equivalencia de Lax", demostrado por Peter Lax. Este teorema establece que "el único esquema que puede convergir es un esquema que se pueda conformar de manera estable". En otras palabras, la relación de [estabilidad + adecuación = convergencia] representa el teorema de la equivalencia de Lax. Observa el Diagrama 5-1-4 para hallar los significados de "adecuación", "estabilidad" y "convergencia".

Diagrama 5-1-3




**CONSEJOS** El teorema de la equivalencia de Lax establece que la ecuación de la evolución lineal y escalar en el tiempo cumple con los criterios de estabilidad y adecuación para la convergencia a través de la ecuación de diferencia. En otras palabras, cuando la convergencia se realiza y los aumentos de cuadrícula son precisos, la solución de diferencia se acerca nuevamente a su ecuación diferencial original.

Diagrama 5-1-4 **Adecuación y estabilidad. El "valor verdadero" citado aquí es la solución que se obtiene cuando se resuelven de manera analítica ecuaciones diferenciales parciales de fluido**



# 5-2 Método de volumen finito

▶ La técnica de simulación de fluidos más utilizada

Aunque se han creado muchas técnicas de simulación de fluidos, veamos la más utilizada que se denomina "método de volumen finito".

## Concepto del método de volumen finito

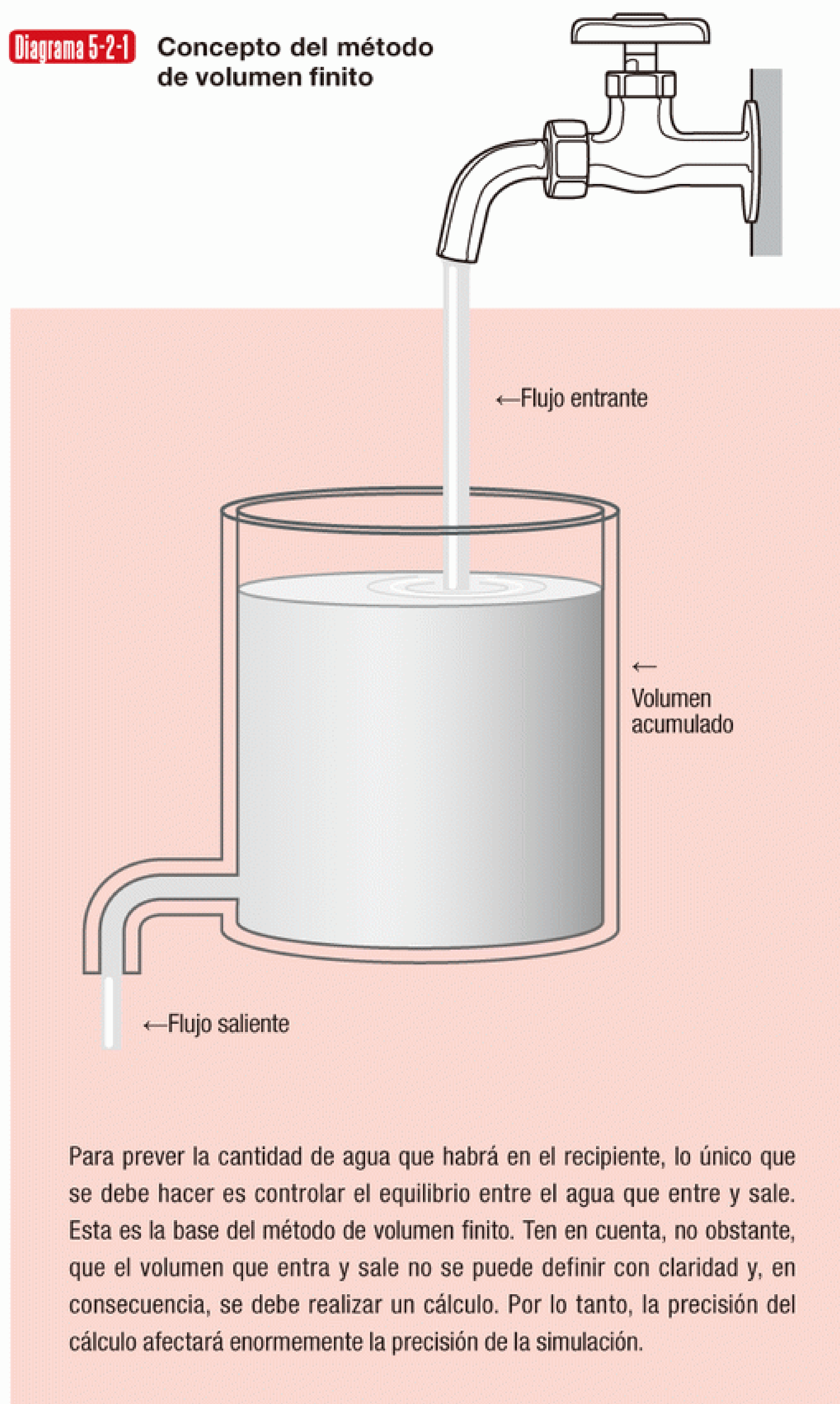
En el método de volumen finito se pone atención en el equilibrio de volumen entrante y saliente de cada elemento de espacio dividido. Considera, por ejemplo, el volumen de agua que entra en el recipiente y sale de él. Para calcular la cantidad de agua de dicho recipiente un segundo después, se puede emplear la siguiente ecuación:

**Volumen de un recipiente después de 1 segundo = Volumen original + Flujo entrante por segundo - Flujo saliente por segundo**

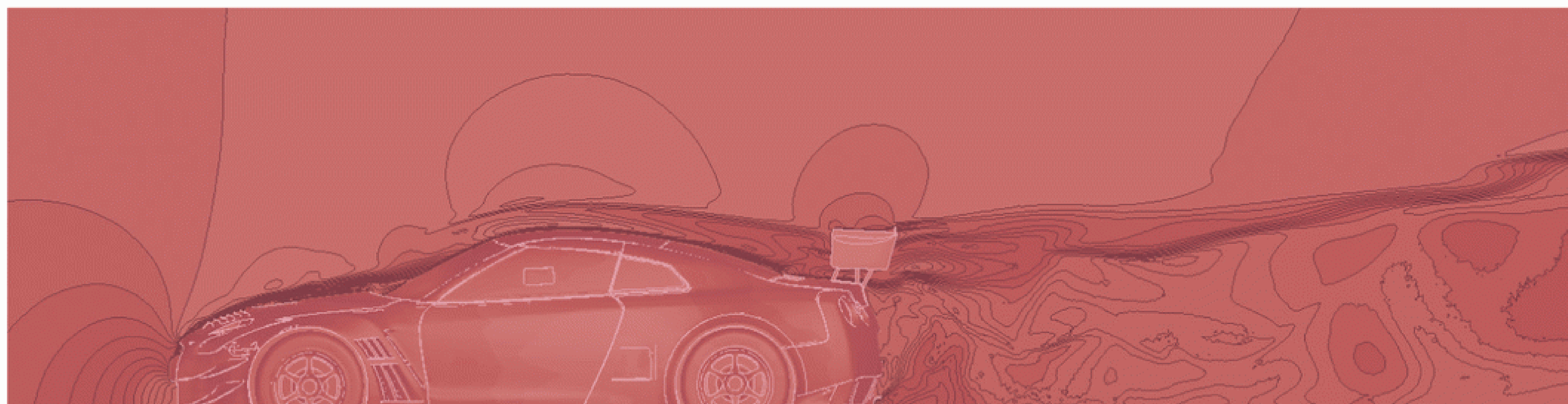
La idea básica detrás del método de volumen finito es similar en concepto a la técnica con la que se predice el volumen de agua en el futuro al utilizar el volumen de agua actual y el volumen de agua entrante y saliente. La técnica para calcular el volumen de fluido en una simulación también se puede aplicar a magnitudes físicas como la presión y el caudal.

**CONSEJOS** La aproximación (esquema) que se utiliza para el método de diferencia y el método de volumen finito se apoya en la expansión de Taylor. La expansión de Taylor es una técnica que representa una función uniforme a través de una expansión de serie. Aunque la expansión de Taylor no se describe aquí, es muy importante en varios esfuerzos matemáticos, incluida la CFD, y te recomendamos mucho que la investigues en caso de que tengas más interés.

Diagrama 5-2-1 **Concepto del método de volumen finito**




Para prever la cantidad de agua que habrá en el recipiente, lo único que se debe hacer es controlar el equilibrio entre el agua que entre y sale. Esta es la base del método de volumen finito. Ten en cuenta, no obstante, que el volumen que entra y sale no se puede definir con claridad y, en consecuencia, se debe realizar un cálculo. Por lo tanto, la precisión del cálculo afectará enormemente la precisión de la simulación.



## Flujo numérico

Veamos un poco más de cerca el concepto del método de volumen finito a través de la CFD. Primero dividiremos el espacio como en el Diagrama 5-2-2. Este espacio dividido se conoce como "trama" (también malla o cuadrícula). Ahora consideremos un fluido que atraviesa la trama.

En primer lugar, supongamos que conocemos la cantidad física que cada elemento de la trama contiene en un momento determinado. El concepto de simulación del pasaje de fluido a través del método de volumen finito se trata de predecir la cantidad física que contendrán elementos futuros utilizando la misma cantidad de flujo entrante y saliente por unidad de tiempo.

Entonces, ¿de qué manera se determinan el flujo entrante y saliente por unidad de tiempo en cada elemento? La respuesta, en CFD, es midiendo (aproximándose a) un valor razonable a partir de los volúmenes de flujo entrante y saliente según la distribución de la cantidad física actual. Se puede elegir cómo determinar el volumen, pero el flujo entrante y saliente por unidad de tiempo no se puede definir de manera única. La elección humana para la determinación de la cantidad física de flujo entrante y saliente por unidad de tiempo se conoce como "flujo numérico", y la precisión de esto afecta enormemente la precisión de los resultados de cálculo.

Diagrama 5-2-2 **Flujo numérico que ingresa en el elemento y sale de él**

Cantidad física futura del elemento j = Cantidad física original del elemento j
+ Flujo numérico j-1/2 en dirección al elemento j
– Flujo numérico j + ½ en dirección al elemento j

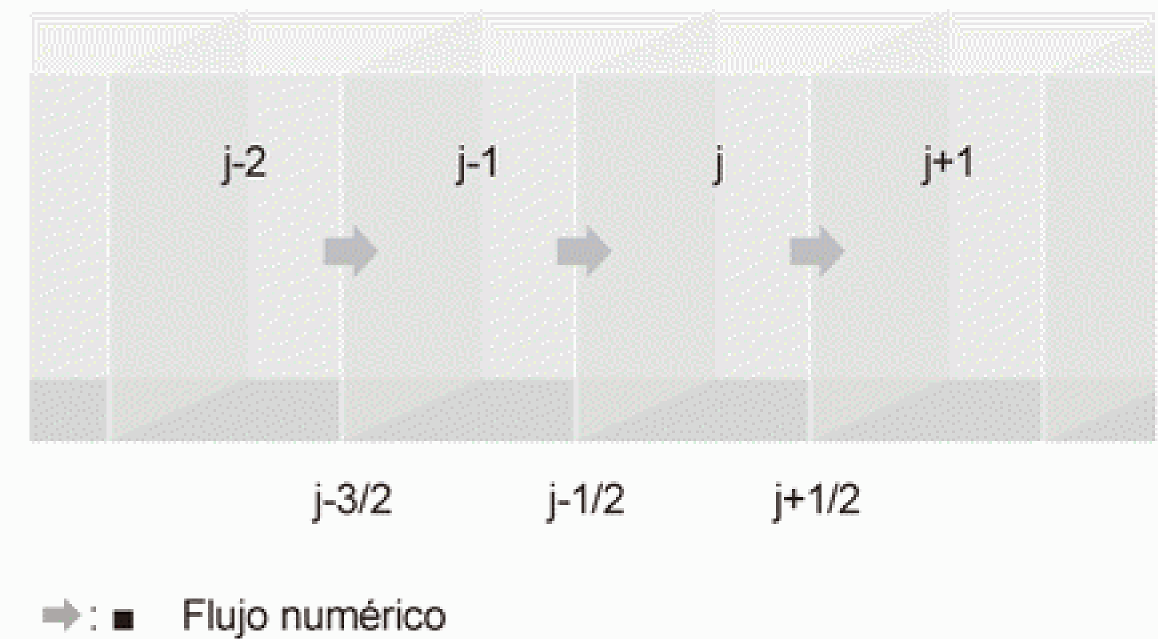
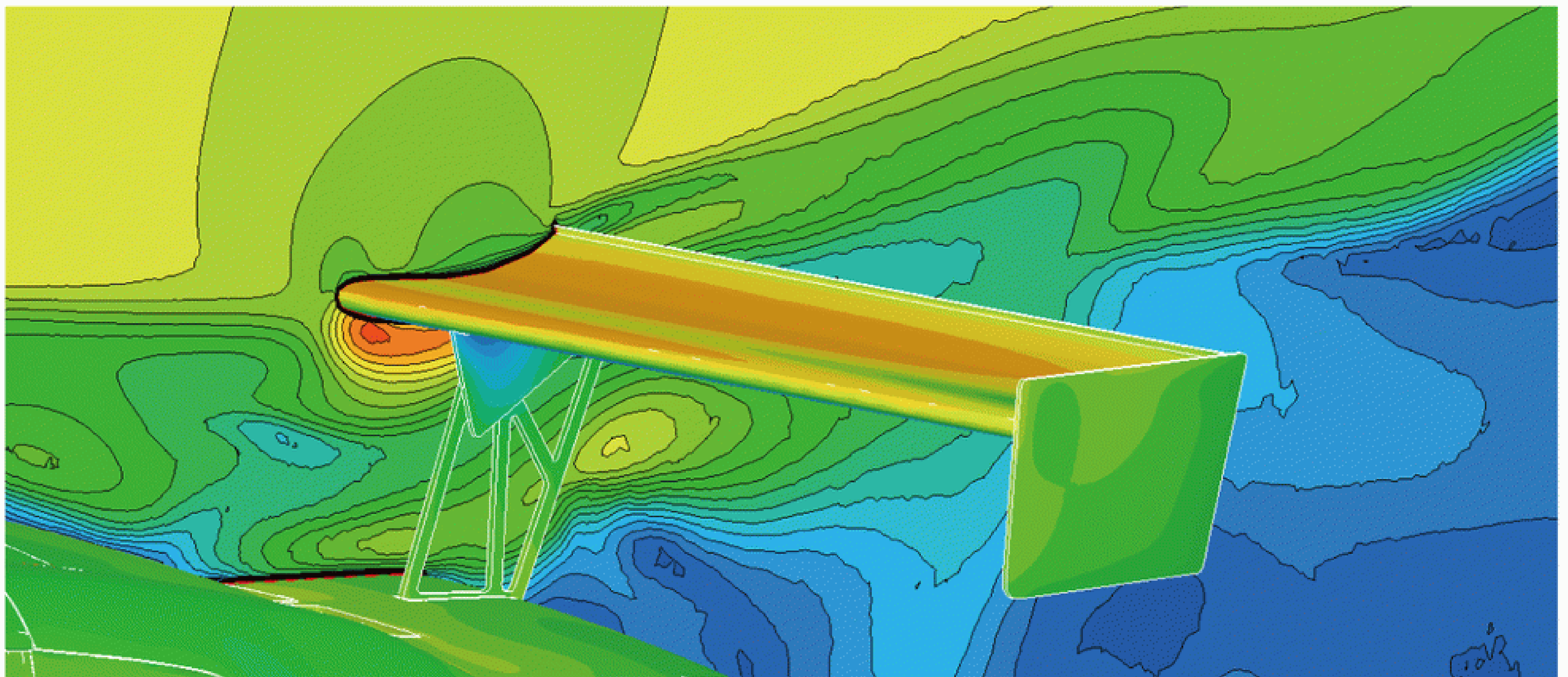



Diagrama 5-2-3 **Campo de flujo alrededor del alerón trasero de un auto de carreras**



# 5-3 Características de esquemas

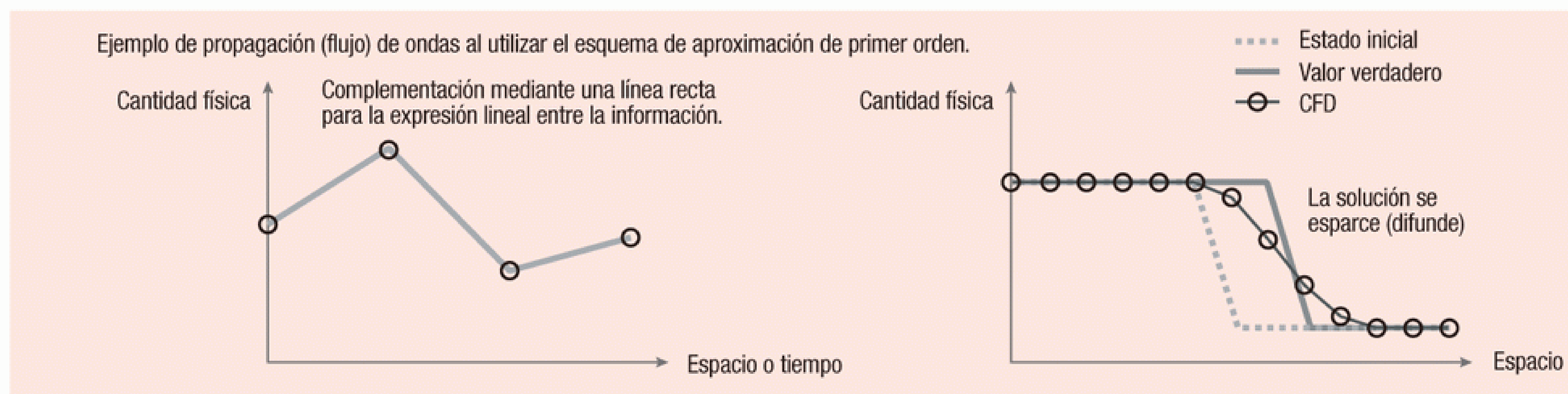
## ▶ La monotonía y la alta precisión no pueden ser compatibles

Existen varias maneras de determinar el flujo numérico, y quien ponga en práctica la CFD debe determinar el esquema apropiado. Por supuesto, no se puede elegir cualquier esquema que se desee. La precisión del flujo numérico puede diferir según el tipo de esquema que se emplee y afectará la precisión de la simulación. Como el teorema de la equivalencia de Lax lo establece, la utilización de un esquema inapropiado aumentará el margen de error y generará discrepancias en los cálculos. Examinemos brevemente la manera en que la diferencia de esquema puede afectar los resultados.

### El esquema de la aproximación primaria

Para complementar la información faltante de una computadora, lo primero que se debe hacer es una aproximación mediante una línea recta que represente los cambios en la cantidad física. Cuando la expresión lineal se utiliza para la aproximación del cambio lineal, la precisión del esquema en cuestión se considera como la precisión principal. El esquema de la aproximación de primer orden tiene la ventaja de poder mantener la monotonía, pero la desventaja de difundir la solución.

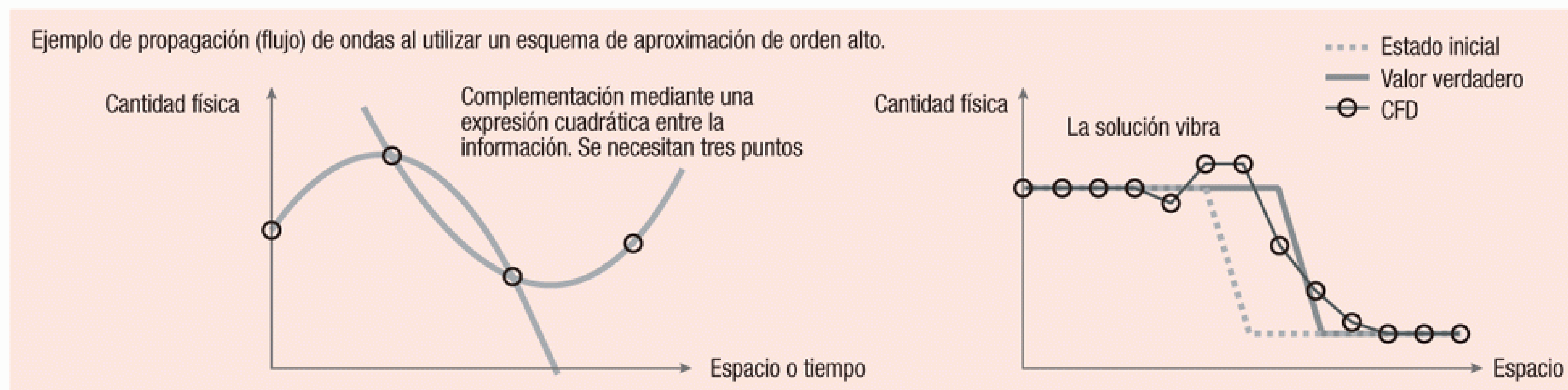
**Diagrama 5-3-1** Ejemplo de cálculo de propagación de ondas y esquema de aproximación de primer orden. La solución se difunde debido a que el esquema de aproximación de primer orden no puede resolver las ondas de alta frecuencia




### El esquema de la precisión de orden alto

Es sencillo suponer que se podría obtener un resultado más preciso obteniendo información (cantidad física) de más elementos de trama y haciendo una aproximación curvilínea de orden alto en lugar de una aproximación a partir de una expresión lineal de línea recta. Y, de hecho, la solución obtenida de un esquema de precisión de orden alto es más preciso que un esquema de aproximación de primer orden. Sin embargo, cuanto más alto es el orden, mayor es la cantidad física utilizada para cálculos de varias tramas, lo que aumenta la complejidad computacional. También existen otras desventajas por las que otros esquemas de aproximación de orden alto pueden ocasionar que una solución vibre, lo que reduce la precisión.

**Diagrama 5-3-2** Ejemplo de cálculo de un esquema de aproximación de segundo orden y propagación de ondas (flujo). La forma de onda se rompe debido a que la onda de precisión de orden alto difiere de la velocidad (fase) de la propagación de onda de la frecuencia



## Teorema de Godunov

Se puede obtener un resultado de cálculo más preciso para la mayor parte del campo de flujo mediante el esquema de aproximación de orden alto. Sin embargo, existen desventajas para el esquema de aproximación de orden alto. Cuando se utiliza un esquema de aproximación de orden alto en áreas en las que se producen cambios de flujo repentinos, como en el caso de un flujo en una superficie de discontinuidad, la solución se vuelve susceptible a oscilaciones que pueden originar valores no realistas y falta de estabilidad. En este tipo de campo de flujo, el esquema de aproximación de primer orden, que puede mantener la monotonía, proporciona los mejores resultados.

¿Por qué, entonces, no crear un esquema de alta precisión en el que la solución no oscile? Desafortunadamente, se ha demostrado matemáticamente que las dos condiciones (que el esquema sea de alta precisión y que la solución sea monótona) no pueden ser compatibles. Esto se denomina "Teorema de Godunov". Según este teorema, no existen esquemas que puedan reunir los aspectos de "alta precisión" y "solución monótona" al mismo tiempo. Sin importar la manera en que se manipule, no hay manera de que se pueda producir tal esquema ideal de aproximación de orden alto.

**Diagrama 5-3-3** Según el teorema de Godunov, ningún esquema con aproximación de orden alto puede mantener la monotonía de la solución (el signo del gradiente no cambia) para la ecuación de ondas lineales. Por esta razón se creó un esquema no lineal para resolver este problema. Una de sus manifestaciones es el de TVD (se describe a continuación)

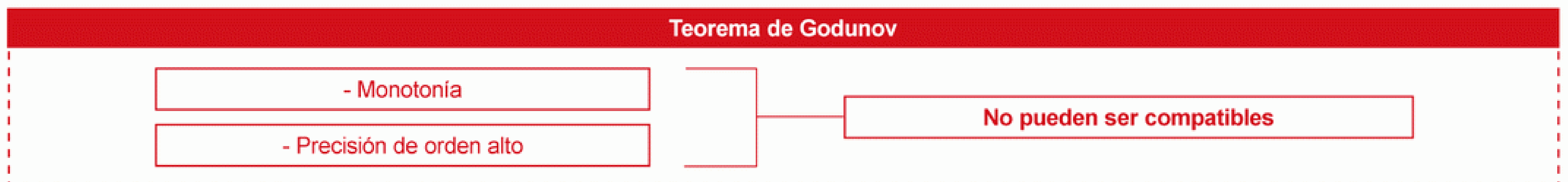
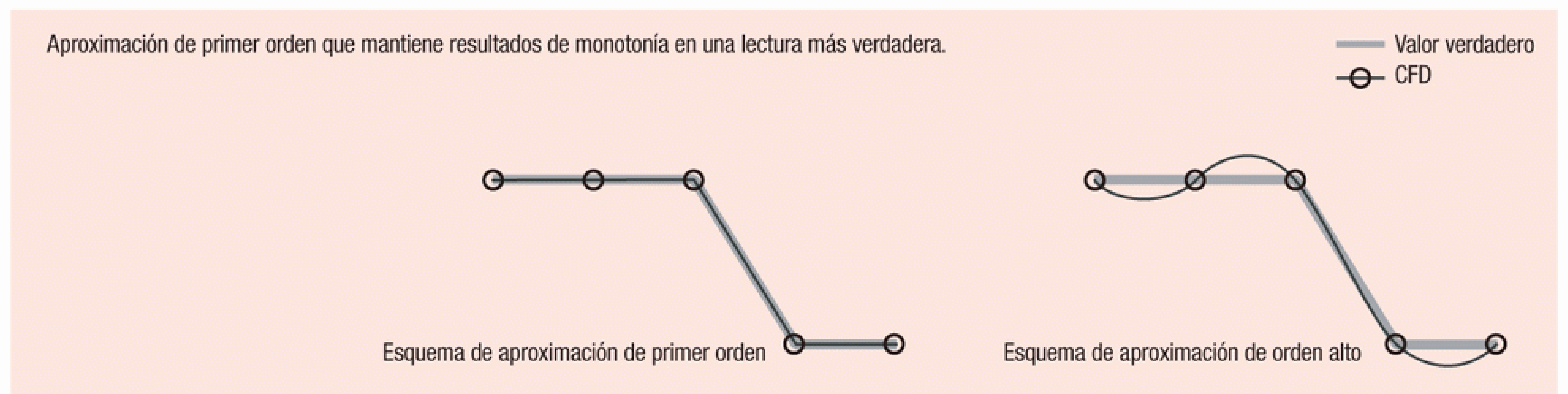



**Diagrama 5-3-4** La precisión para los cambios de flujo drásticos, como en el caso de la superficie de discontinuidad






# 5-4 Compatibilidad de la aproximación de primer orden y orden alto

▶ Cómo hacer que la aproximación de primer orden y orden alto sean compatibles

Según el teorema de Godunov, un esquema de "alta precisión" y en el que "la solución no oscile" no es posible y, sin importar el enfoque, no hay manera de eliminar la posibilidad de que la solución vibre. Por lo tanto, se debe pensar en una manera diferente de obtener buenos resultados sin oscilación en la solución.

## TVD

La solución de aproximación de primer orden se difunde en forma sencilla y la precisión no es muy alta, pero en la solución no habrá oscilación y se podrá mantener la monotonía. Por otra parte, aunque la aproximación de orden alto naturalmente produce datos más precisos que la aproximación de primer orden, cuando se resuelve el cambio abrupto de flujo, como en el caso de una superficie discontinua, la solución puede experimentar oscilación y se podrían generar valores no realistas e inconsistencias. Por lo tanto, las aproximaciones de primer orden y de orden alto presentan sus ventajas y desventajas. ¿Por qué, entonces, no utilizar solo las ventajas de cada una, según el flujo, para obtener el mejor resultado de cálculo? Esta idea dio lugar a una técnica denominada "Disminución de variación total" (TVD, Total Variation Diminishing).

La TVD es un producto híbrido de la aproximación de primer orden y de orden alto. La TVD es un enfoque creado para evitar cambios en la solución general. Puede determinar el cambio de intensidad de un flujo y la mayor parte del flujo se calcula mediante la aproximación de orden alto, pero en una situación en la que el flujo cambia drásticamente se produce un cambio a la aproximación de primer orden, con lo que se mantiene la monotonía.

**Diagrama 5-4-1 TVD**

- Producto híbrido de la aproximación de primer orden y de orden alto.
- Según el flujo, utiliza la aproximación de primer orden o de orden alto.

| | Ventaja | Desventaja |
|---|---|---|
| Aproximación de primer orden | Monotonía | Difusión de la solución |
| Aproximación de orden alto | Alta precisión | Vibración de la solución |

⬇ Solo se utiliza la ventaja de cada una

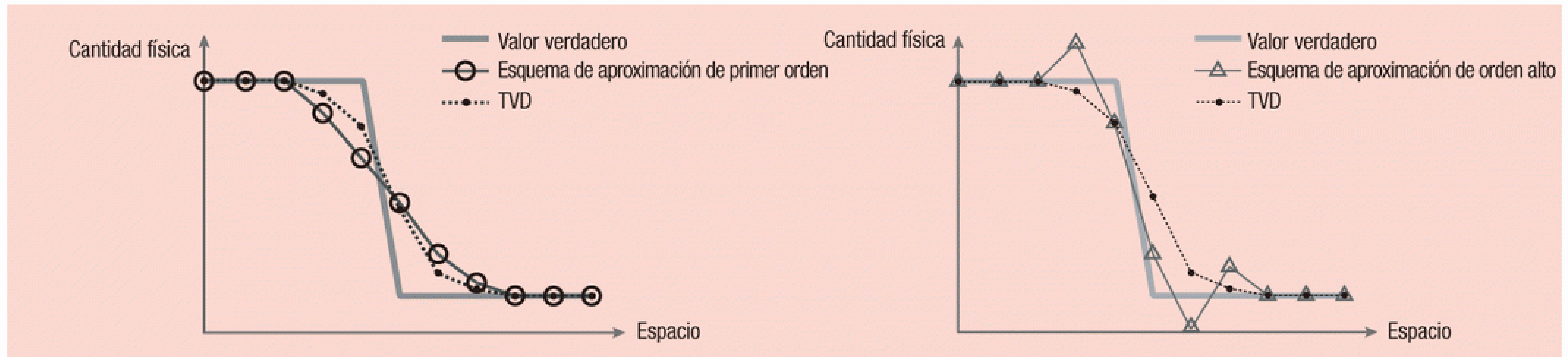
**TVD**

**CONSEJOS** Existen otras técnicas aparte de la TVD que se utilizan para reducir la oscilación que se produce cuando se utiliza el esquema de aproximación de orden alto. Entre los métodos notables se encuentra uno que añade viscosidad numérica artificial y otro que se denomina "MUSCUL".

**CONSEJOS** Los esquemas como la TVD, que mantiene la precisión de orden alto en áreas de flujo uniforme, pero al mismo tiempo captura lecturas claras de áreas discontinuas que comúnmente se denominan "esquemas de alta resolución".



Diagrama 5-4-2 **Los resultados que se obtienen se acercan mucho más al valor verdadero cuando se utiliza la TVD**



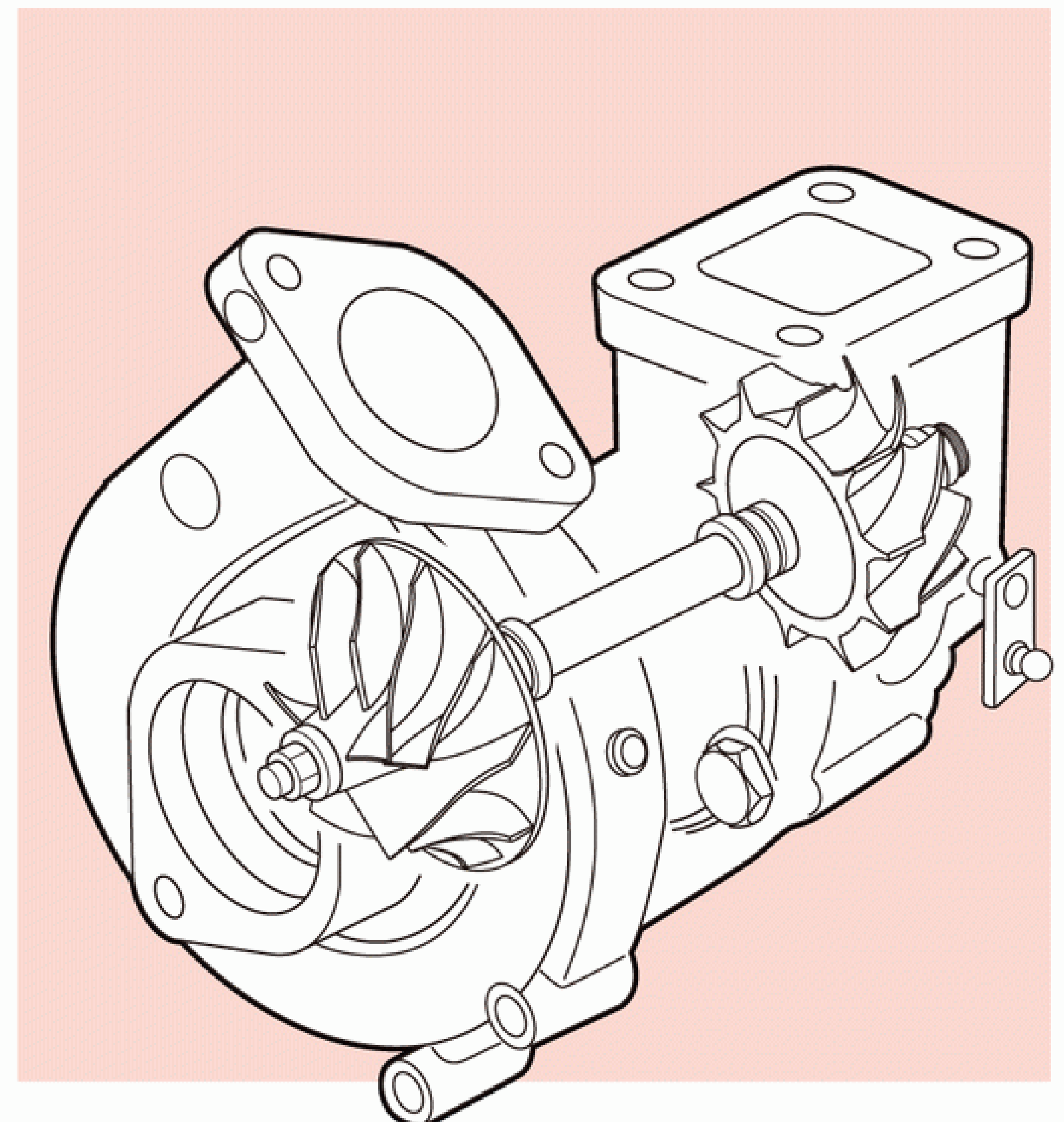

## Evaluación de la TVD

El Diagrama 5-4-2 representa un resultado calculado mediante la TVD comparado con resultados del esquema de aproximación de orden alto y primer orden. A diferencia del esquema de aproximación de primer orden, la TVD no se aparta de efectos no físicos como el exceso o la escasez. Observa, también, que el esparcimiento se contiene mejor que el del esquema de aproximación de primer orden. Observa, en particular, que la TVD tiene valores reales más cercanos (solución exacta) que los demás esquemas.

Sin embargo, debido a que es necesario trabajar para determinar el cambio en el campo de flujo al utilizar la TVD, se demorará el tiempo que ello demande para calcular los resultados.

**CONSEJOS** La TVD resulta eficaz para resolver una superficie de discontinuidad, como la de una onda de choque, y es una técnica que se utiliza mucho en la simulación de fluido comprimible.





# 5-5 Cómo resolver la turbulencia

▶ Método de reducción de la complejidad computacional

## Resolución de vórtices

Cuando un vehículo se encuentra en funcionamiento, se genera turbulencia a su alrededor. La turbulencia se compone de vórtices grandes y pequeños; no obstante, para calcular aun el más simple se necesitan al menos nueve elementos de trama o cuadrícula, como se muestra en el Diagrama 5-5-1. Si deseáramos calcular directamente el conjunto completo de vórtices alrededor de un vehículo, se necesitarían cantidades de elementos enormes.

Por ejemplo, si intentamos resolver los vórtices que componen la turbulencia alrededor de un vehículo que se desplaza a 100 km/h, el número de elementos necesarios sería $10^{13}$ potencia. En otras palabras, ¡se necesitarían aproximadamente 10 millones de billones de elementos de trama o cuadrícula! Si puedes utilizar una supercomputadora de primer nivel, esto podría ser teóricamente posible, pero en el mundo real de la ingeniería automotriz hacer un cálculo enorme como este se considera poco práctico.

Diagrama 5-5-1 **Para resolver vórtices bidimensionales se necesitarán como mínimo nueve elementos de trama**

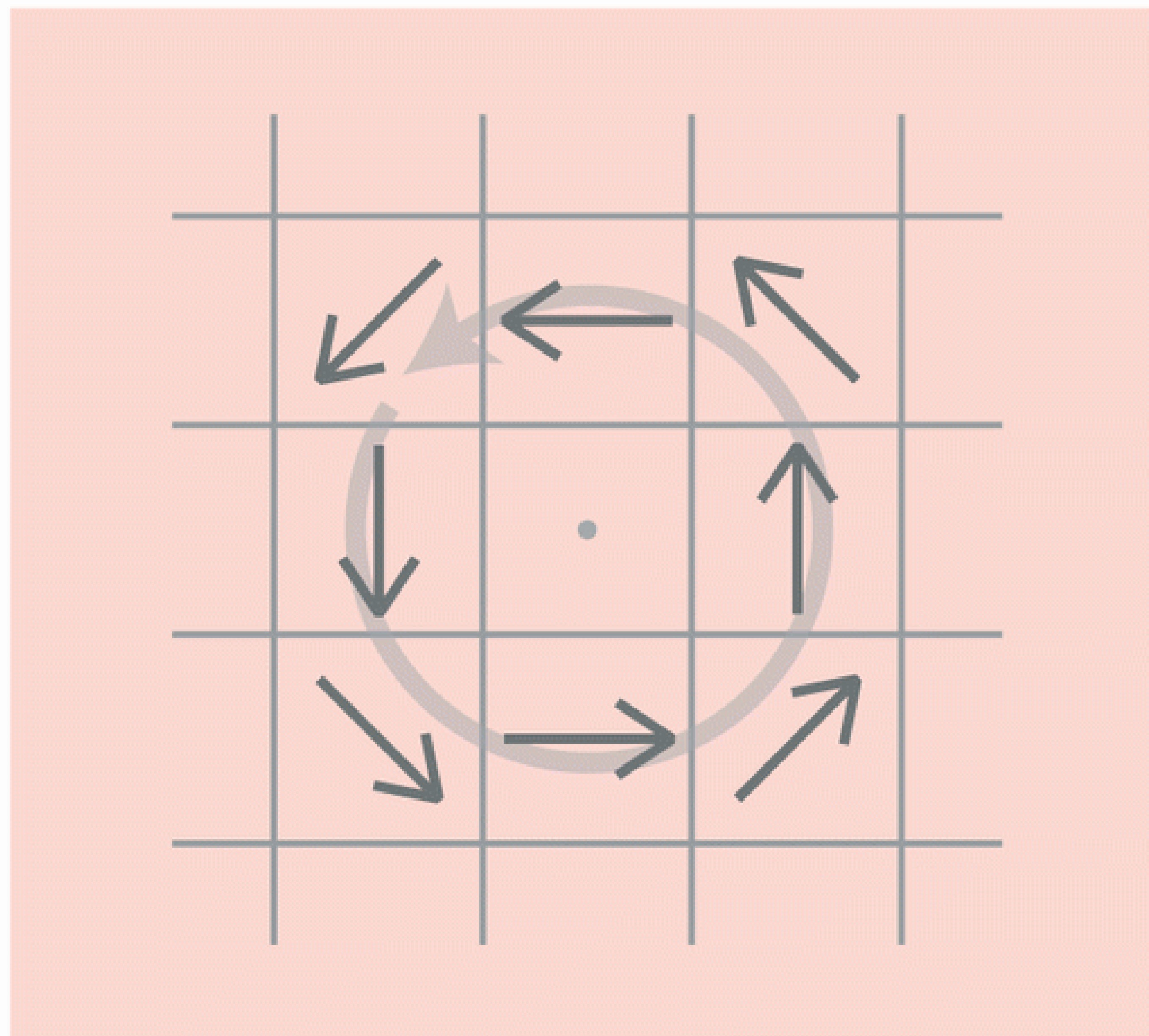
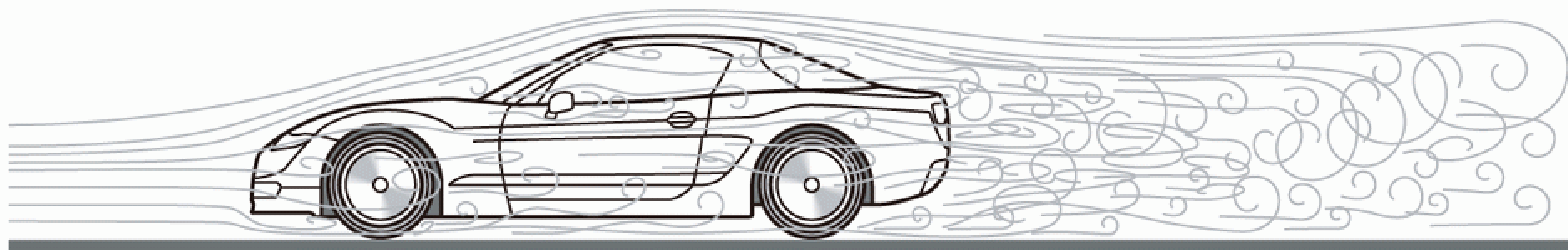


Diagrama 5-5-2 **Relación entre la turbulencia y los vórtices de aire**

La turbulencia se compone de vórtices de aire grandes y pequeños.



## Modelo de turbulencia

En la teoría de mecánica de fluidos, el modelado de las características de turbulencia nos ha ayudado a avanzar en la comprensión de la verdadera naturaleza de la turbulencia. La ecuación de Navier-Stokes muestra los movimientos de turbulencia, pero es imposible lograr una solución perfecta. Por eso, se ha intentado modelar algunas de las características determinantes de la turbulencia, con algo de éxito. En la práctica, al incorporar estos modelos de turbulencia simplificados (sin intentar encontrar una solución para todos los vórtices, grandes y pequeños) a la CFD, se reduce la cantidad de cálculos necesarios. Veamos los modelos de turbulencia más utilizados: el de RANS y el de LES.

**CONSEJOS** El método por el que no se emplea el modelo de turbulencia y se resuelve en forma directa la ecuación de un fluido se denomina "Simulación numérica directa" (DNS, Direct Numerical Simulation). Sin embargo, como se estableció anteriormente, para realizar una DNS perfecta el espacio se debe dividir con precisión. A su vez, con la división del espacio tiene lugar la división del tiempo, por lo que la complejidad computacional sería enorme.

## RANS (ecuaciones de Navier-Stokes con promedio de Reynolds)

El de RANS es un modelo de turbulencia que convierte el caudal de turbulencia en un índice promedio que se divide en el componente de variación. La complejidad computacional requerida por el modelo de RANS es relativamente baja, por lo que este es el modelo más utilizado. Sin embargo, existen desventajas como la dificultad para calcular con precisión la separación de flujo.

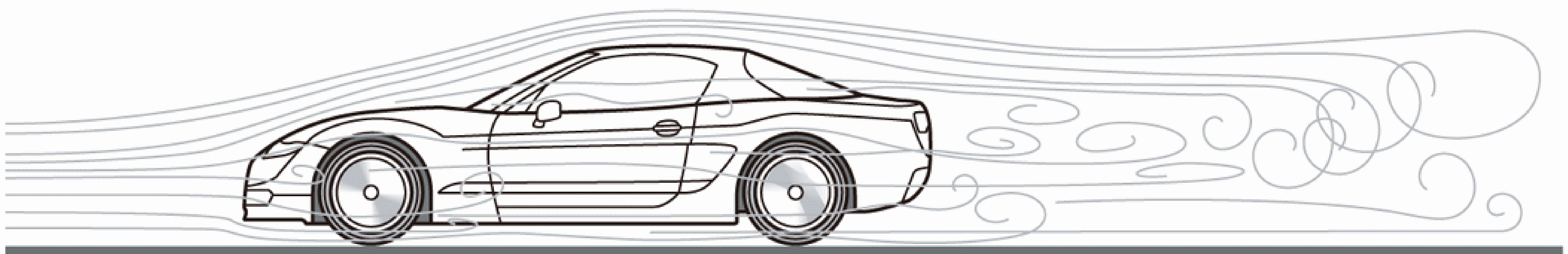
Diagrama 5-5-3 RANS



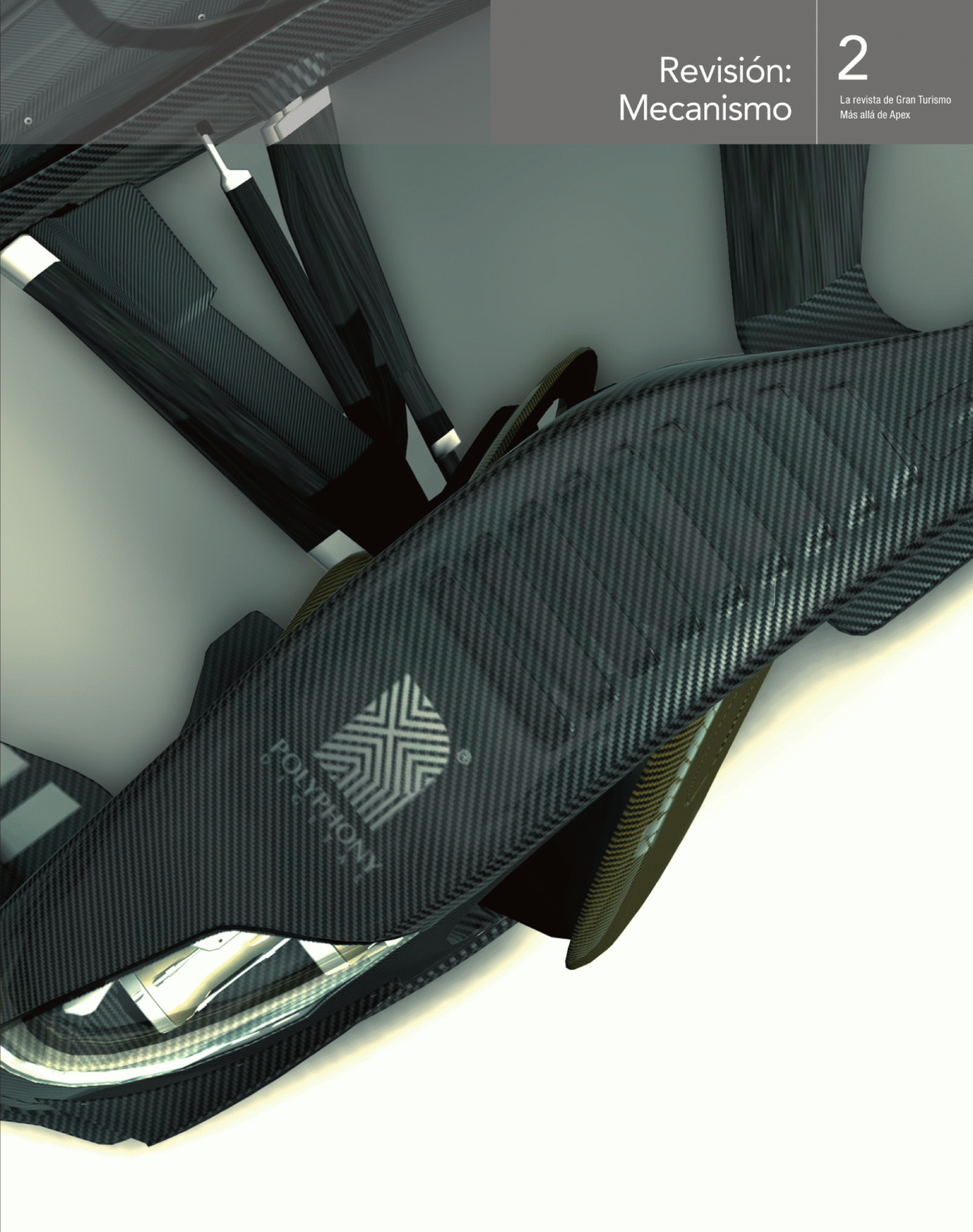

## LES (simulación de grandes remolinos)

En cuanto a la turbulencia, los vórtices grandes tienen una influencia dominante en la medición de la turbulencia, y cuanto menor sea el vórtice, más reducida será la influencia general en el campo del flujo. Si se evita resolver el vórtice pequeño y se calcula directamente el grande, el pequeño se modela en un proceso denominado "Simulación de grandes remolinos" (LES, Large Eddy Simulation). La LES puede calcular el campo de flujo con un grado de precisión mucho mayor que el de las ecuaciones de Navier-Stokes con promedio de Reynolds (RANS, Reynolds Averaged Navier-Stokes), aunque la complejidad computacional involucrada será muy superior.

Diagrama 5-5-4



A
Adaptabilidad 79
Agregado de calor isobárico 57
Agregado de calor isovolumétrico 56
Amortiguación crítica 28
Amortiguación de derrape 41
Amortiguación excesiva 28
Ángulo de ataque 73
Ángulo de desplazamiento 36
B
Balance de dirección 38
Balanceo 39
C
Cabeceo 39
Cambio adiabático 53
Cambio irreversible 59
Cambio isotérmico 52
Cambio reversible 59
Campo de flujo 67
CFD 78
Ciclo Atkinson 63
Ciclo de Carnot 52
Ciclo del motor diésel 57
Ciclo Otto 56
Condición de Kutta 73
Constante de Boltzmann 51
Convergencia 79
D
Derrape 39
Desorden 59
Diagrama de Bode 32
Diferencia de fase 30
E
Ecuación de Euler 68
Ecuación de movimiento 20
Ecuación de Navier-Stokes 69
Eficacia teórica 54
Envergadura 76
Envergadura limitada 76
Esquema 82
Estabilidad 79
Estado de equilibrio 50
F
Filamento de vórtice 71
Flujos numéricos 81
Frecuencia de resonancia 27
Frecuencia natural 27
Fuerza 20
Fuerza de cizalladura 36
Fuerza de viraje 36
Fuerza lateral 37
G
Ganancia 32
Giro 40
I
Índice de amortiguación 28
L
LES 87
Ley de conservación de energía 22
Línea de flujo 67
M
Masa no suspendida 46
Masa suspendida 46
Método de volumen finito 80
Módulo de cizalladura 36
Monotonicidad 83
Motor térmico 52
O
Orden 59
P
Par motor 20
Paradoja de d'Alembert 70
Pérdida de energía 62
Perfil aerodinámico 67
R
RANS 87
Rechazo de calor isovolumétrico 56
Resonancia 26
Respuesta 30
Respuesta de frecuencia 32
S
Sobreviraje (OS, Oversteer) 38
Subamortiguación 28
Subviraje (US, Understeer) 38
Superficie discontinua 71
Sustentación 67
T
Teorema de equivalencia de LAX 79
Teorema de Godunov 83
Teorema de Kutta-Zhukovsky 72
Teoría de Bernoulli 66
Teoría de capa límite de Prandtl 74
Teoría de la línea sustentadora de Prandtl 76
Turbulencia 86
TVD 84
V
Vibración 24
Viraje neutral (NS, Neutral Steer) 38


Revisión:
Mecanismo
2
La revista de Gran Turismo
Más allá de Apex
POLYPHONY

# Especificaciones básicas

**Las características y el rendimiento de los diferentes vehículos varían enormemente, según el uso deseado. Cuando elijas un vehículo, es importante entender los principios básicos detrás de cada una de sus especificaciones.**

## Dimensiones

El chasis de un vehículo y la disposición básica de sus piezas operativas son las especificaciones más básicas, que se deciden durante las etapas iniciales de desarrollo y esto hace que sean los más difíciles de cambiar más adelante. Estas especificaciones tienen un efecto crucial en las tres funciones principales de conducción, giro y frenado. Las deficiencias son difíciles de compensar con las modificaciones y una diferencia leve puede tener un efecto enorme en el rendimiento. Además, los efectos logrados mediante modificaciones también se ven afectados en gran medida por el potencial base del auto. Para que puedas aprovechar tu auto al máximo, debes estar familiarizado con cómo estas especificaciones básicas afectan el rendimiento.

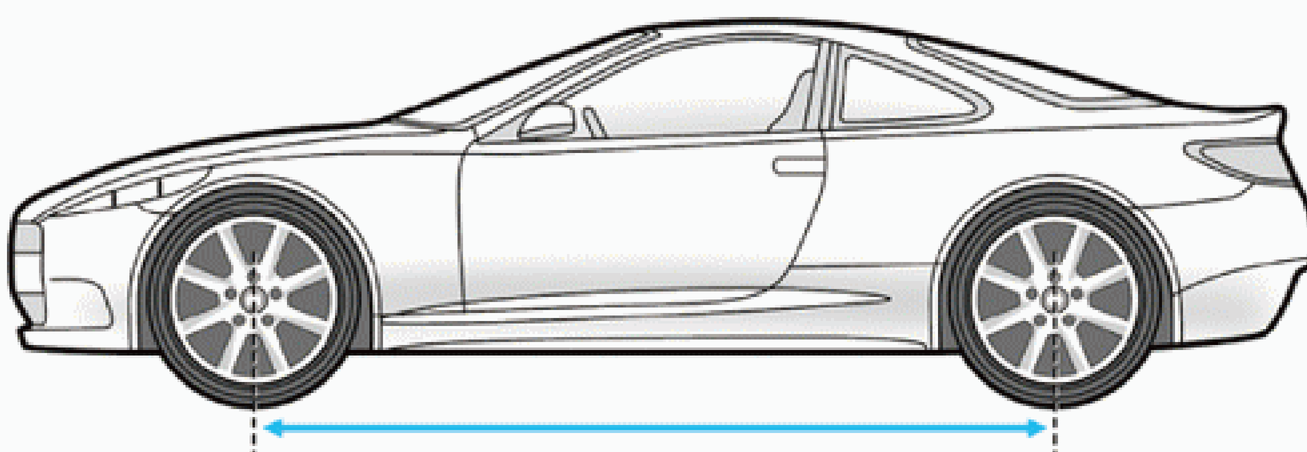


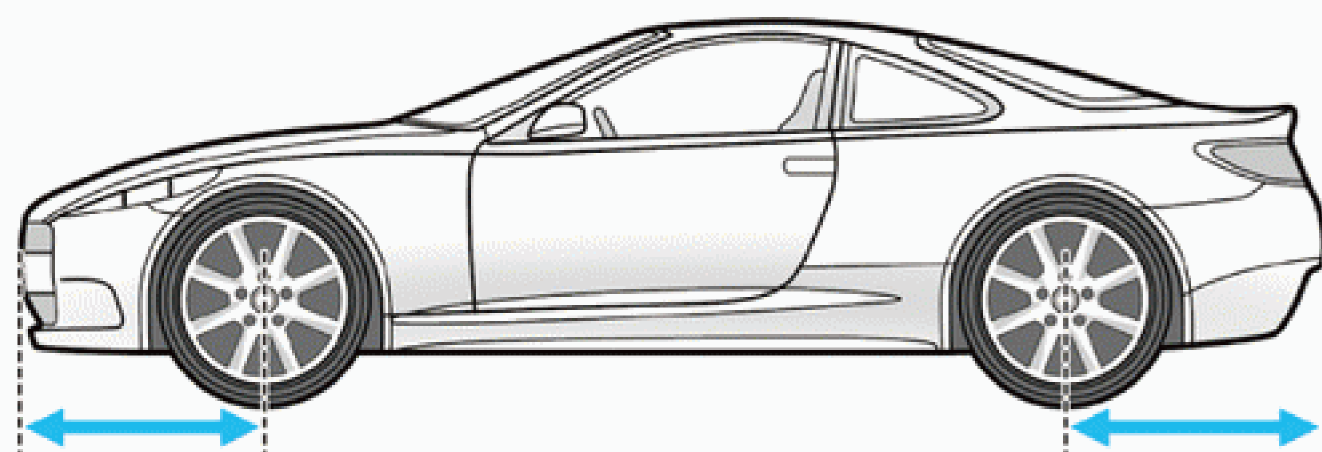
### Distancia entre ejes

La distancia entre ejes es la distancia desde el centro de las ruedas delanteras hasta el centro de las ruedas traseras cuando se mira el auto desde el costado. Este largo tiene un gran impacto en la estabilidad del auto. Cuanto más alta sea la distancia entre ejes, menos se verá afectado el vehículo por la ondulación de la superficie y los vientos de costado, y será más estable en línea recta. Por otra parte, a pesar de que una distancia entre ejes más corta reduce la estabilidad, se mejora la respuesta de la dirección y el auto resulta ágil en las curvas. En términos de comodidad, una distancia entre ejes más larga generalmente se considera mejor.

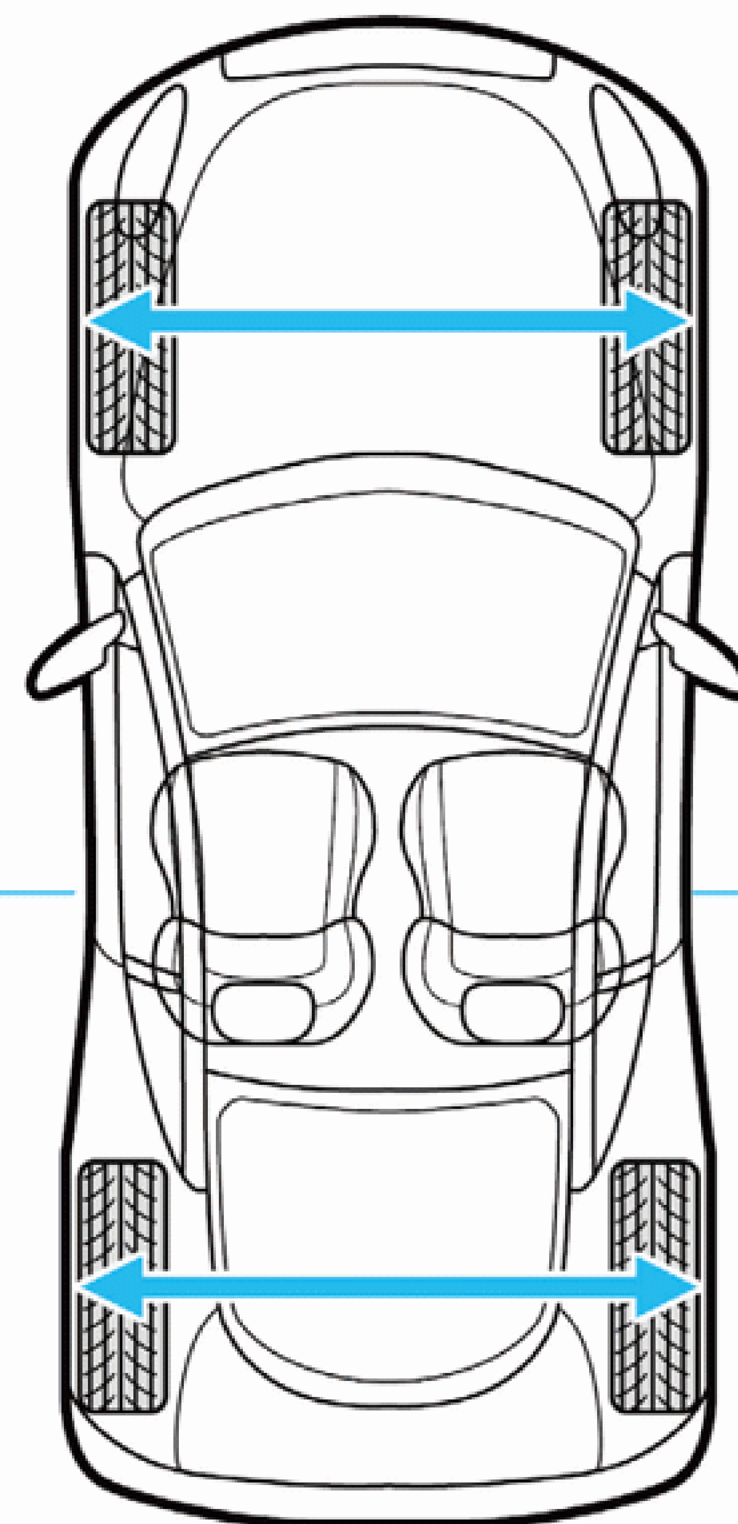
### Voladizos

El voladizo delantero es el tramo del auto que se extiende más allá del centro de las ruedas delanteras hasta el extremo del parachoques delantero. El voladizo trasero es el tramo del auto que se extiende más allá del centro de las ruedas traseras hasta el extremo del parachoques trasero. Si en el área de voladizos las partes del auto son pesadas, el momento de derrape (resistencia al giro) aumenta y se reduce la maniobrabilidad. Debido a esto, los componentes del auto que tengan un peso significativo deberían colocarse en el espacio comprendido por la distancia entre ejes, siempre que sea posible. Esto se aplica especialmente para los componentes pesados, como el motor. Sin embargo, los voladizos de ciertas dimensiones son importantes por razones aerodinámicas, de modo que no se pueden evitar por completo.





# El rendimiento de un auto depende de sus dimensiones y de su peso

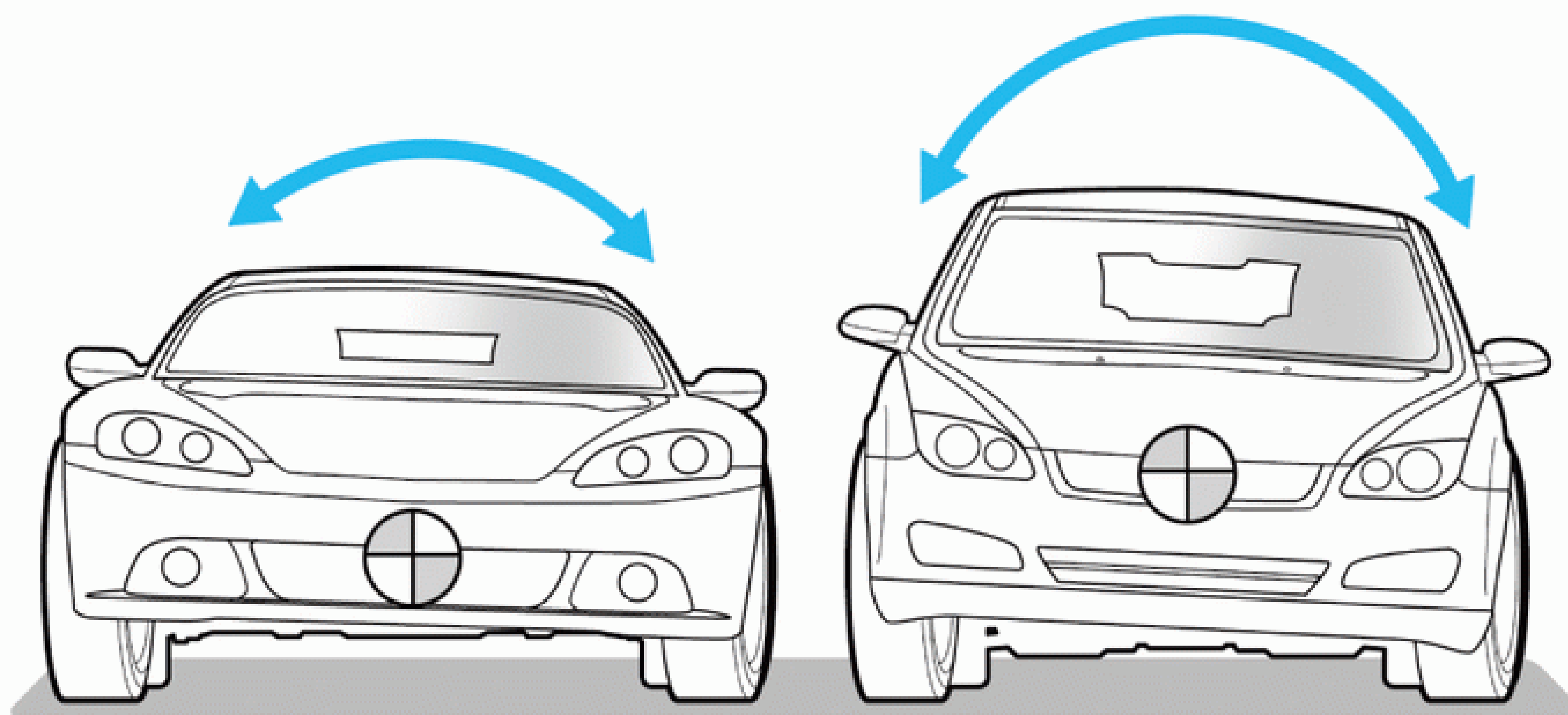


## Ancho de vía

El "ancho de vía" se refiere a la distancia entre las ruedas izquierdas y derechas de un auto. El aumento del ancho de vía bajará el centro de gravedad de un vehículo. En términos generales, el aumento del ancho de vía aumenta la tracción en las curvas, y el aumento del ancho de vía de las ruedas motrices aumentará el contacto con la superficie de la carretera y, por lo tanto, mejorará la capacidad del vehículo para transferir su potencia a la superficie de la carretera. Por otra parte, un ancho de vía menor ofrecerá un manejo más rápido, pero reducirá la estabilidad. Es común que los autos de carrera tengan diferentes anchos de vía entre en las ruedas delanteras y traseras para mejorar el manejo.

## Altura

La altura se mide desde la superficie de la carretera hasta el punto más alto de un vehículo. Una altura más baja significa un centro de gravedad más bajo, lo que reduce el balanceo en las curvas y aumenta la velocidad de giro. Sin embargo, la altura más baja también significa menos espacio para los pasajeros y un recorrido de la suspensión más corto (la cantidad de espacio que tienen los resortes de la suspensión para expandirse y contraerse), y aumenta el riesgo de que la suspensión llegue al tope.



## Peso

El peso es un factor crucial para determinar el rendimiento del vehículo. Cuanto más liviano es el auto, menor es la demanda del motor y mayor es la potencia que se puede usar para el movimiento. Otros beneficios incluyen un desgaste reducido de los frenos y una capacidad en curvas más eficiente. El peso de un auto dividido por su potencia máxima de salida se conoce como la relación peso-potencia. Cuanto más pequeña sea esta relación, más rápida será la aceleración y más deportiva será la conducción. Esto también afecta en gran medida la economía de combustible y la reducción del peso de un auto es ahora un factor importante en el diseño de nuevos autos en términos de impacto ambiental y rendimiento.

# Trenes de transmisión y distribución del peso

Como el tamaño y el peso, el tren de transmisión es otra especificación básica de los vehículos. Las especificaciones de un tren de transmisión son pares de letras que describen la ubicación del motor y las ruedas motrices en términos de "delantero", "central" y "trasero", con la ubicación del motor en primer lugar y las ruedas impulsoras en segundo lugar. FF, FR, MR y RR son algunas de las especificaciones de tren de transmisión más comunes. Esta información es importante porque la ubicación del motor (la parte más pesada del auto) y las ruedas que este impulsa tendrán un efecto enorme en el balance del peso y el movimiento.

En los autos con buen balance de peso, la potencia del motor será transmitida de manera eficaz a las ruedas motrices y esto tendrá un impacto positivo en el arranque y la aceleración. El frenado a alta velocidad también será más efectivo, ya que el auto hará menos movimientos de cabeceo hacia adelante.

Pero el beneficio más importante del buen balance de peso es la capacidad en curvas mejorada. Los autos con mal balance de peso pueden perder la estabilidad más fácilmente con la fuerza centrífuga y corren mayores riesgos de derrapar fuera de control.

El balance de peso ideal es una distribución 50:50 entre la parte delantera, la parte trasera, el lado izquierdo y el lado derecho. En los autos donde el motor está en la parte delantera y las ruedas motrices están en la parte trasera, esta distribución se alcanza fácilmente. Sin embargo, los vehículos FF (y los vehículos con tracción integral, que a menudo están basados en FF), donde el motor y las ruedas motrices están en la parte delantera, serán más pesados en la parte delantera, y los autos RR serán más pesados en la parte trasera. La mayoría de los autos FF ahora tienen los motores montados de manera transversal ("lateralmente" cuando se comparan con la mayoría de los vehículos) para mejorar la distribución del peso.

Sin embargo, los problemas de balance del peso no son imposibles de solucionar, y se pueden mejorar hasta cierto punto mediante la modificación y la conducción para compensar desequilibrios. Pero son diferencias sutiles como estas las que hacen que un auto de carreras MR pueda ganarle a un auto FR con un buen balance.



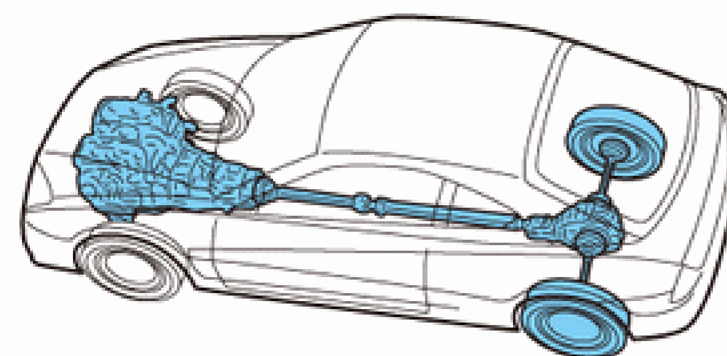
# Maniobrabilidad y estructura básica

## Tipos de trenes de transmisión

### FR

Motor delantero, tracción trasera

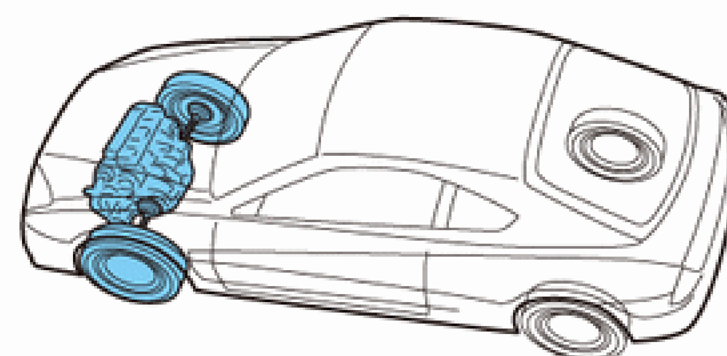
Esta es una disposición convencional, con el motor ubicado en la parte delantera y las ruedas motrices en la parte trasera. En los vehículos con esta disposición se puede lograr fácilmente una distribución de peso uniforme. Además de las buenas características de manejo, tiene la ventaja de contar con una buena sensación de dirección porque las ruedas usadas para la dirección (delanteras) están separadas de las ruedas motrices (traseras). Sin embargo, en algunas superficies puede ser difícil ganar tracción (y, por lo tanto, potencia de impulsión).



### FF

Motor delantero, tracción delantera

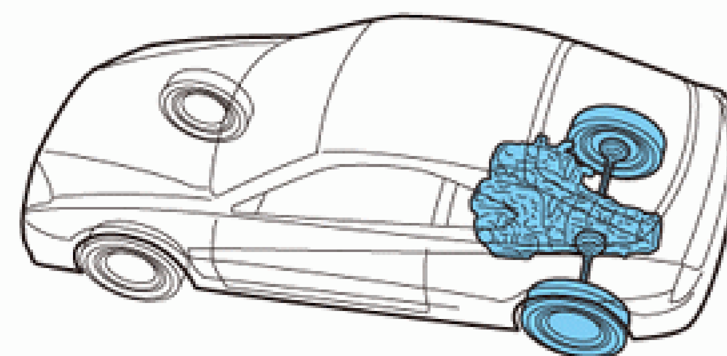
Una distribución con el motor y las ruedas motrices en la parte delantera. Ubicar el motor pesado y la transmisión juntos en la parte delantera significa que la cabina puede ser más grande, pero esto resulta inevitablemente en un balance frontal pesado. Además, como las ruedas delanteras manejan tanto la potencia de impulsión como la dirección, el agarre de las ruedas delanteras se divide entre mantener el movimiento de avance y el viraje en las curvas. Por estos motivos, esta distribución no es muy adecuada para los vehículos de alta potencia.



### MR

Motor central, tracción trasera

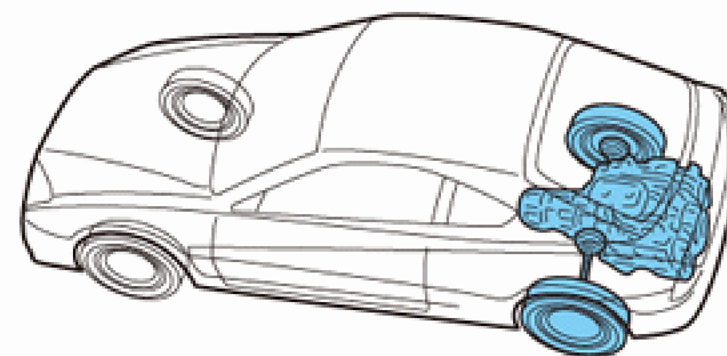
Una distribución con el motor ubicado en la parte central del auto, que impulsa las ruedas traseras. El montaje del motor cerca del centro del auto hace que este se ubique más cerca del centro de gravedad del vehículo, lo que hace que sea posible realizar virajes más cerrados. Además, asegura un agarre máximo en los neumáticos delanteros y traseros durante la aceleración y la desaceleración. Esta distribución es una elección popular en automóviles deportivos y autos de carreras construidos para desarrollar velocidades altas.



### RR

Motor trasero, tracción trasera

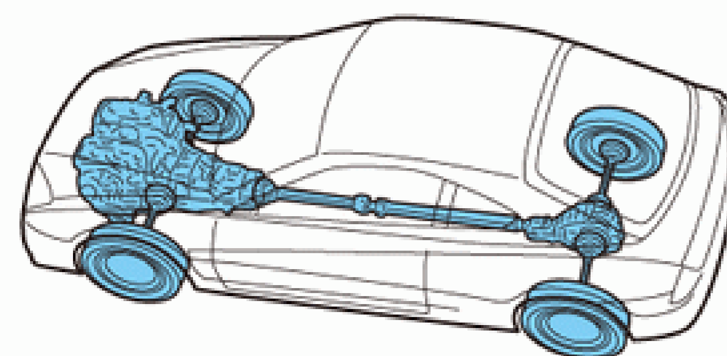
Una distribución de tracción trasera, con el motor montado en el voladizo trasero, detrás de las ruedas. Esta distribución concentra el peso en la parte trasera del vehículo, lo que empuja las ruedas traseras hacia la superficie de la carretera y, por lo tanto, mejora la tracción y la aceleración. Sin embargo, reduce la carga en las ruedas delanteras, lo que facilita el subviraje al entrar por primera vez en una curva. Además, como hay tanto peso en las ruedas traseras, si derrapa la parte trasera, lo hace de manera violenta y se requiere un alto nivel de habilidad de conducción para recuperarse.



### T4R

Tracción en las cuatro ruedas

Una configuración en la que se suministra potencia en las cuatro ruedas. A pesar del peso aumentado, esta configuración es la más apropiada para partir de una posición estática y acelerar. Sin embargo, su estabilidad extremadamente alta puede causar dificultades para girar. Es posible cambiar todas las disposiciones a tracción en las cuatro ruedas, pero la disposición sobre la que se base afectará en gran medida la controlabilidad final. Generalmente, las ruedas delanteras o traseras se considerarán como las ruedas motrices “principales” y se suministrará mayor par motor a las ruedas opuestas si patinan las ruedas “principales”.



M O T O R

CÁPITULO 02 Mecanismo

Motor

# El corazón del automóvil

**El motor es el corazón de un auto. Entender el motor y cómo funciona es la clave para entender el 100% de un vehículo.**

## Mecanismo y principios

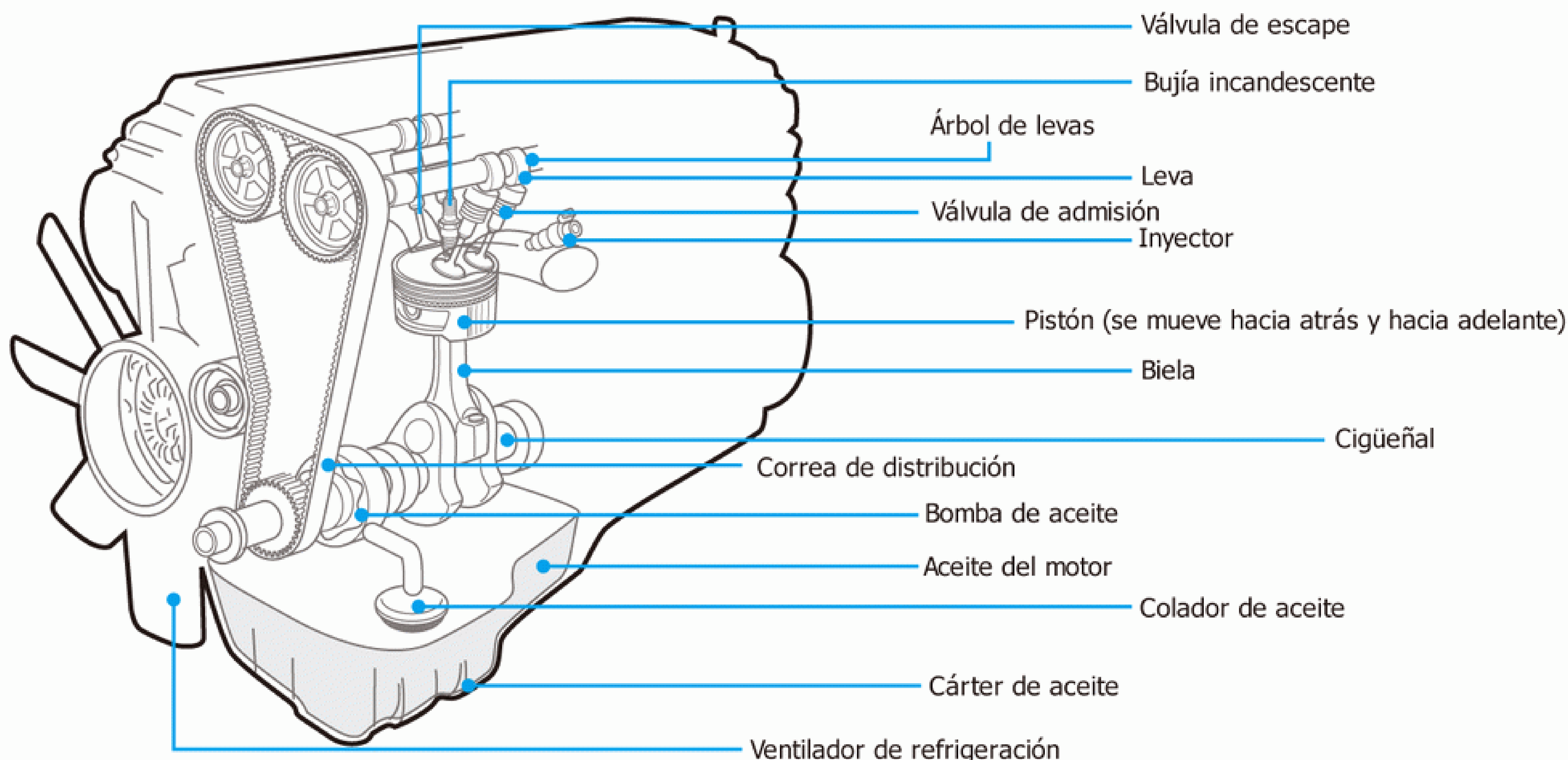
La mayoría de los autos están equipados con un motor de pistones de cuatro tiempos. Los motores de pistones están compuestos por cilindros dentro de los cuales hay pistones que se mueven hacia atrás y hacia adelante para crear energía. Los cuatro tiempos del motor son: admisión, compresión, expansión y escape.

Veamos más de cerca estos cuatro tiempos del ciclo. En la etapa de admisión, la válvula de admisión se abre justo antes de que el pistón llegue al "punto muerto superior", la posición donde el pistón está en la parte superior del cilindro. Cuando el pistón comienza a bajar, una mezcla de aire y combustible es succionada a través de la válvula abierta. Cuando el pistón alcanza la parte inferior del cilindro se completa el ciclo de admisión y comienza el ciclo de compresión, durante el cual todas las válvulas se cierran y el pistón que se eleva comprime el aire y el combustible en el interior del cilindro.

Justo antes de que el pistón alcance la parte superior del cilindro y se comprima la mezcla de aire y combustible, se enciende la bujía incandescente, lo que hace que la mezcla de aire y combustible explote. Esta es la etapa de expansión, punto en el cual el interior del cilindro puede alcanzar temperaturas de hasta 2000 °C y presiones de hasta 200 atmósferas. Esta fuerza de alta temperatura y alta presión empuja el pistón hacia abajo y hace girar el cigüeñal. De esta manera, se transforma la energía térmica en energía mecánica (giratoria).

Cuando el pistón alcanza la parte inferior nuevamente, comienza la etapa de escape y las válvulas de escape se abren para que se puedan expulsar los gases remanentes. Estos gases no son expulsados por el movimiento del pistón, sino que son expulsados mayormente por su propia temperatura y presión, que hacen que estos salgan rápidamente por las válvulas. Una vez que el pistón alcanza nuevamente la parte superior, se abren las válvulas de admisión, y comienza el ciclo una vez más.

Un motor de pistones funciona con estas cuatro etapas y mueve el cigüeñal varios cientos de veces por minuto durante la marcha en vacío y varios miles de veces por minuto a altas velocidades, para seguir generando energía para el auto.

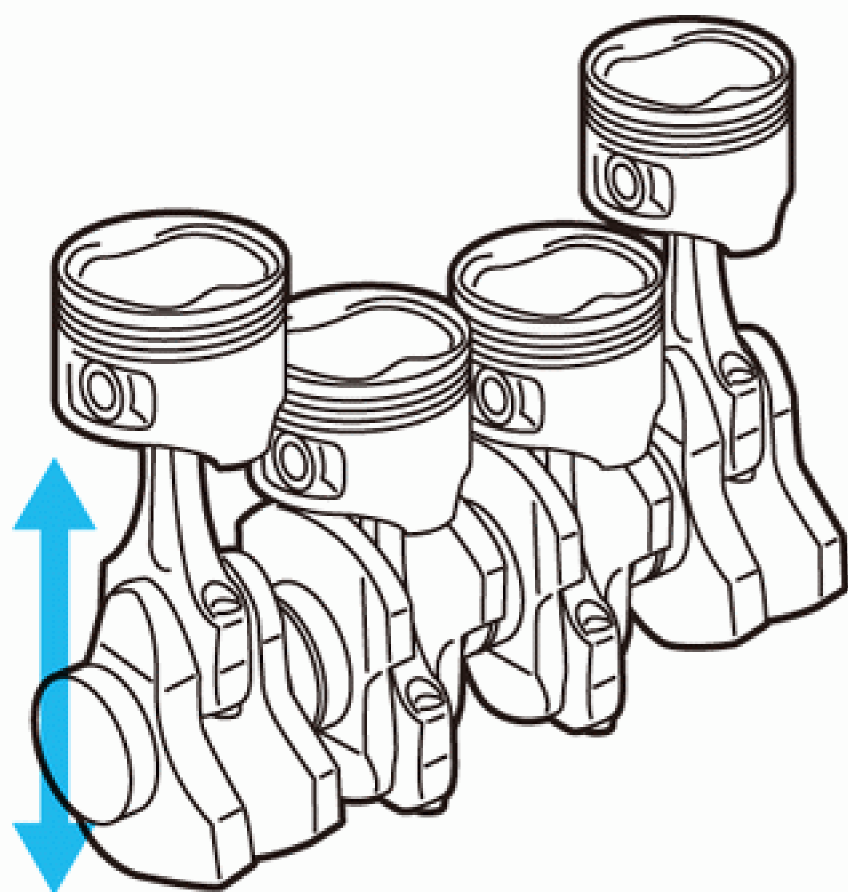


# ¿De qué manera funciona un motor?

## Tipos de configuraciones de cilindros

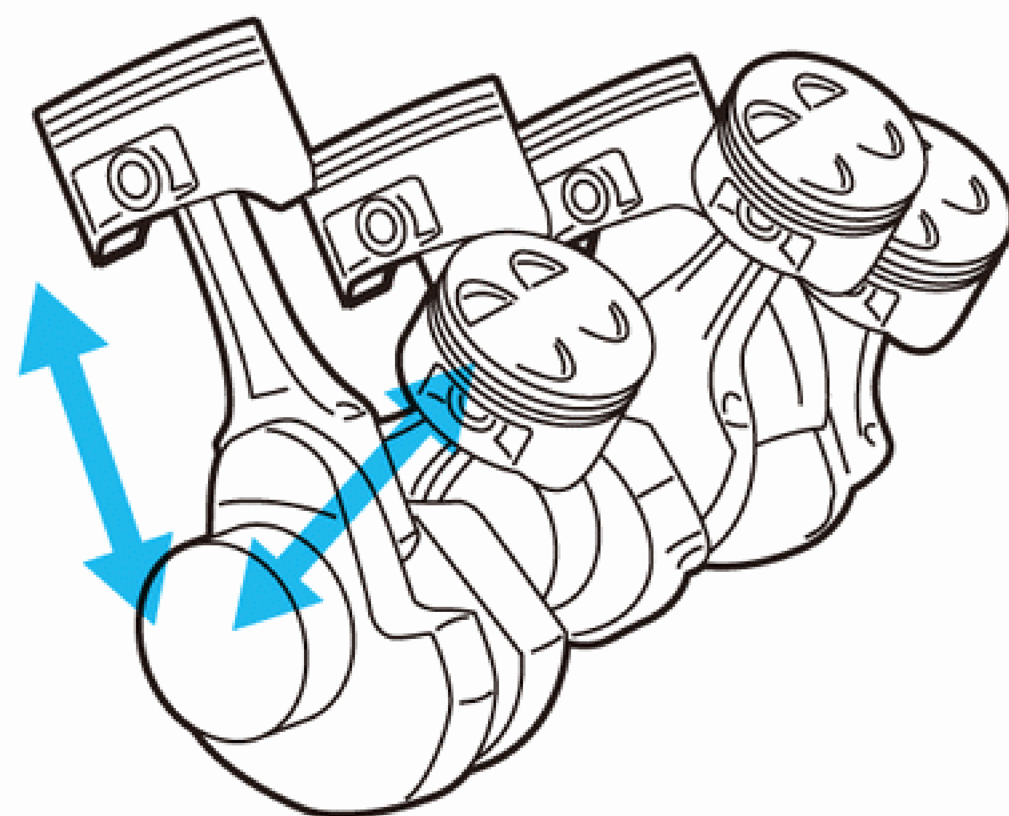
### Motor en línea

Varios cilindros están alineados en una sola fila. Todos los cilindros comparten un cigüeñal, y el bloque de cilindros está fabricado en una sola pieza, de modo que la fabricación es simple y se puede lograr que el motor sea relativamente liviano. Sin embargo, cuantos más cilindros tenga el motor, más largo será, lo que empieza a ser un obstáculo en términos de espacio requerido dentro del vehículo.



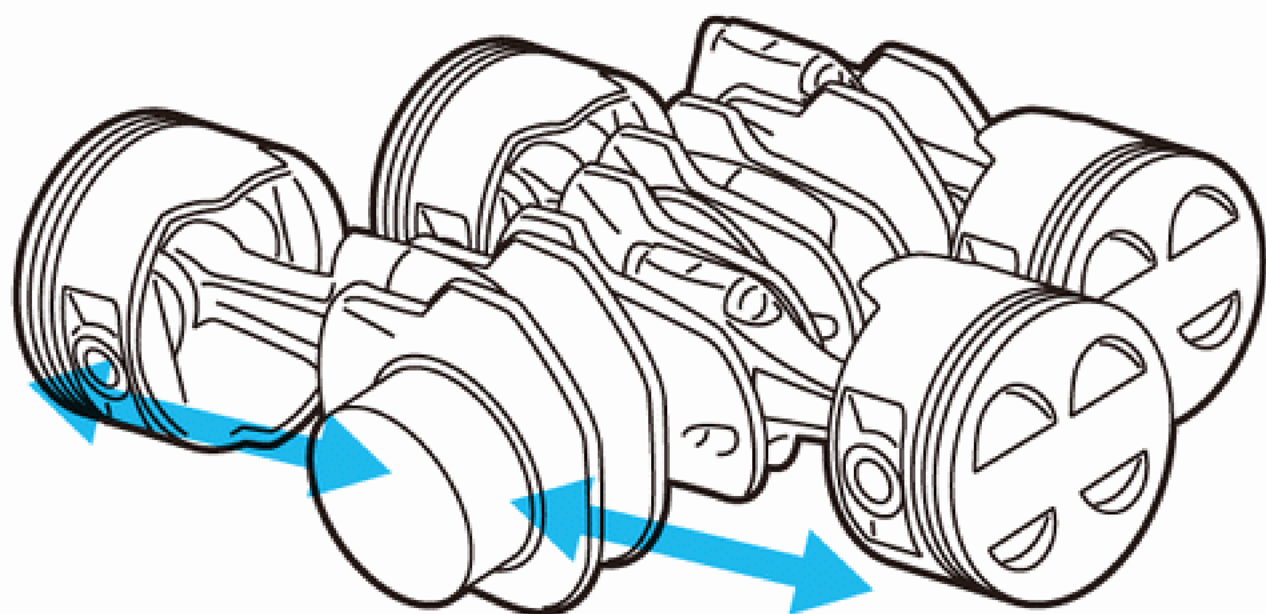
### Motor en V

Cilindros alternativos montados en forma de V. El cigüeñal se puede hacer más corto y tiene la ventaja de ser compacto incluso con un número de cilindros mayor. Independientemente del número de cilindros, hay poca vibración y el bloque de cilindros y el cigüeñal cortos son superiores en términos de rigidez.



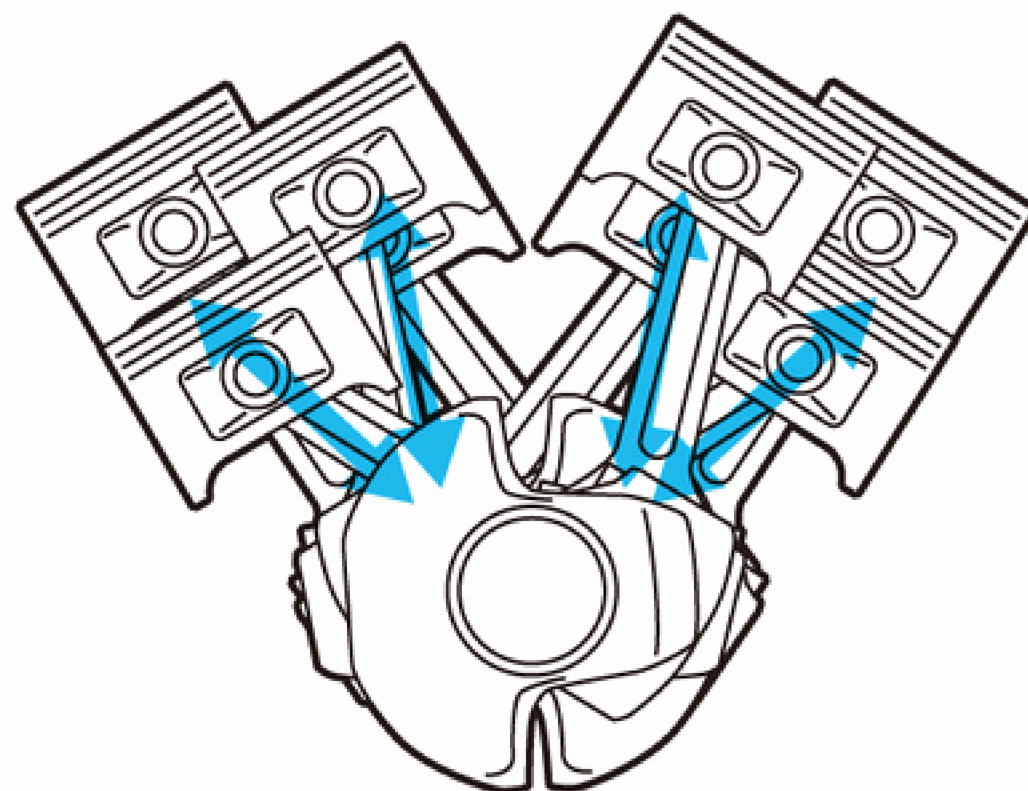
### Motor bóxer

Los cilindros alternativos están dispuestos horizontalmente. Los cilindros izquierdos y derechos están horizontalmente opuestos con el cigüeñal en el centro. Estos se denominan algunas veces motores "bóxer", porque los pistones se mueven hacia la izquierda y hacia la derecha, como los golpes de un boxeador. El beneficio de este motor es su bajo centro de gravedad, debido a su altura reducida.



### Motor en W

Se utiliza para referirse a un motor de un solo cigüeñal, con tres líneas de cilindros acomodados en forma de W; pero en los últimos años, la combinación de dos motores en V de ángulo angosto también recibe el nombre de motor en W. El ancho del motor en W es mayor que el del motor en V, pero su cigüeñal más corto hace que sea más ventajoso en motores de doce o más cilindros.



# Configuraciones de las válvulas

En un motor de cuatro tiempos, existen dos tipos de válvulas: las válvulas de admisión, que se abren durante la etapa de admisión y permiten que la mezcla de aire y combustible ingrese en el motor, y las válvulas de escape, que se abren durante la etapa de escape para liberar los gases residuales. Las válvulas están ubicadas en la culata del cilindro y juegan un rol importante en la conexión y el bloqueo de la cámara de combustión.

Los motores modernos típicamente tienen el árbol de levas en la parte superior del motor, lo que permite un movimiento de válvulas más confiable. La mayoría de los motores modernos tienen cuatro válvulas por cilindro, con dos válvulas de admisión y dos válvulas de escape, pero los motores en los que el foco está en la eficacia de la combustión a un intervalo bajo de r. p. m. con dos válvulas por cilindro, que consisten en una válvula de admisión y una válvula de escape, probablemente regresarán en el futuro.

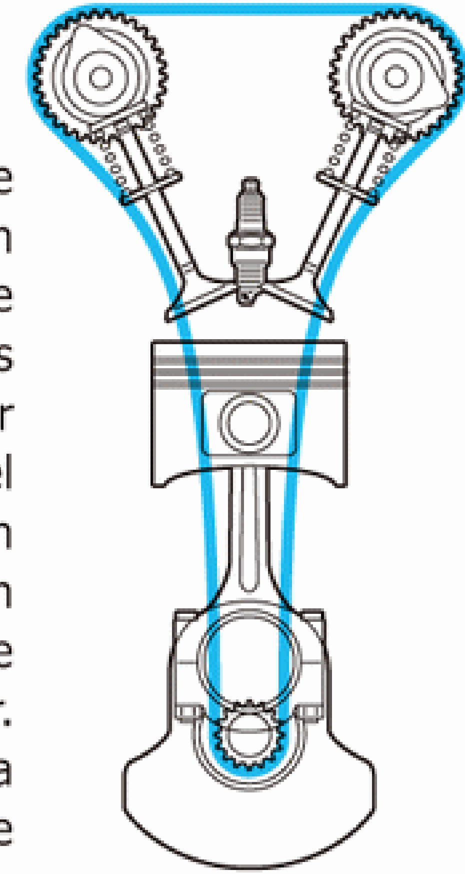
La última tendencia apunta hacia la distribución de válvulas variable. Inicialmente, esto permitía que las válvulas tuvieran dos temporizaciones (una para bajas revoluciones y una para altas revoluciones), pero los desarrollos más recientes permiten que la temporización y la elevación de las válvulas se puedan modificar continuamente según las revoluciones del motor. En el último mecanismo de válvulas variables del motor BMW "Valvetronic", el ajuste de potencia se logra sin la válvula de estrangulación, con lo que se obtiene una eficacia superior.




## Tipos de configuraciones de válvulas

DOHC

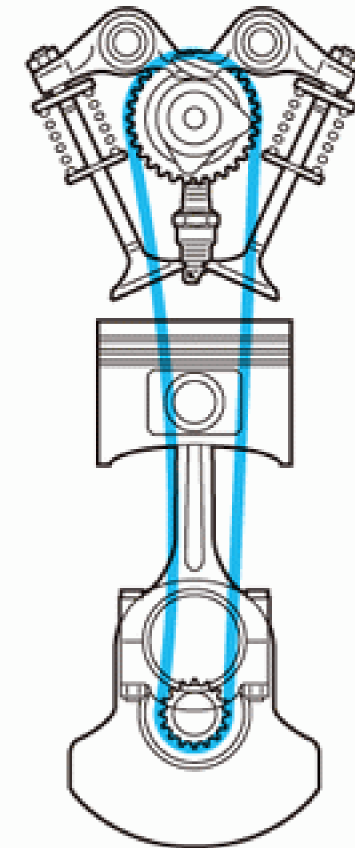
### Doble árbol de levas en cabeza



DOHC quiere decir "doble árbol de levas en cabeza". En un motor DOHC, un árbol de levas acciona las válvulas de admisión y otro árbol de levas acciona las válvulas de escape. Además de asegurar un funcionamiento estable al repartir el trabajo en dos árboles de levas, también hay menos masa alternativa (inercia) en el tren de válvulas, lo que hace posible lograr r. p. m. más altas con el motor. Esto, a su vez, permite alcanzar una mejor potencia de salida y por este motivo se adoptó esta disposición en los motores actuales de más alto rendimiento.

SOHC

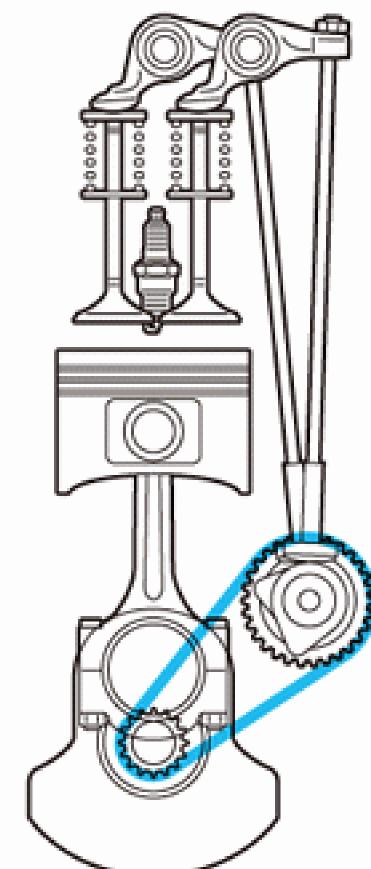
### Árbol de levas en cabeza simple



Un motor con árbol de levas en cabeza simple tiene un solo árbol de levas que acciona las válvulas de admisión y de escape. Según el tipo de cámara de combustión, el árbol de levas puede accionar directamente las válvulas o puede operar las válvulas mediante balancines. En comparación con un motor OHV, los movimientos de las válvulas son más confiables y se puede alcanzar una mayor cantidad de revoluciones. En comparación con un motor DOHC, los movimientos de las válvulas no son tan suaves, pero existen motores SOHC de altas r. p. m., de modo que estos no siempre son inferiores.

OHV

### Válvula sobre la cabeza



Como su nombre lo indica, un motor con válvulas sobre la cabeza tiene un sistema en el que las válvulas están montadas en la cabeza del cilindro. A diferencia de las configuraciones SOHC y DOHC, el árbol de levas está ubicado a un costado de los cilindros y acciona las válvulas con brazos largos llamados "varillas de empuje". Esta estructura es simple y de fácil mantenimiento. Sin embargo, las operaciones de válvulas dentro de estos tipos de motores no son confiables en altas r. p. m. y por lo general no son ideales para aplicaciones de alta potencia.

# Motores rotativos

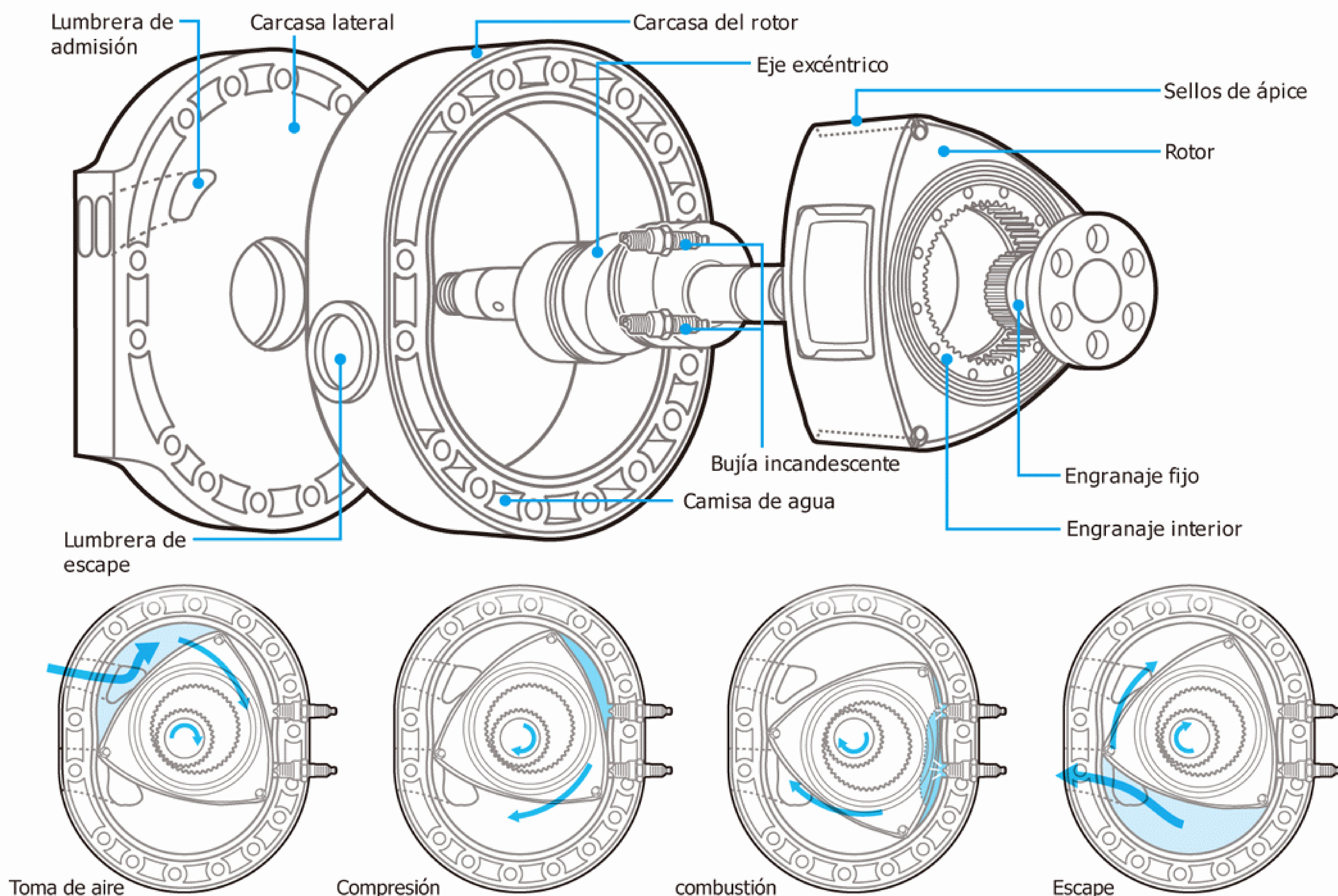
Los motores rotativos (también conocidos como motores Wankel) producen potencia de manera similar a los motores de pistones, ya que utilizan las cuatro etapas de admisión, compresión, expansión y escape. Sin embargo, estos procesos se realizan de manera muy diferente.

En lugar de cilindros, este tipo de motor tiene una carcasa de rotor en forma de capullo (epitrocoide), dentro de la cual hay asentado un rotor triangular. Este rotor gira alrededor del eje excéntrico dentro de la carcasa, que expande y contrae los espacios entre sí y el borde exterior de la carcasa, y es en estos espacios donde se producen la admisión, la compresión, la expansión y el escape. Generalmente, un motor rotativo está compuesto por dos o tres de estos rotores, que se mueven dentro de un mismo número de carcasas de rotores.

En los motores típicos, el movimiento de varios pistones hace que el control de potencia suave sea dificultoso y que también se produzcan mucho ruido y muchas vibraciones. Sin embargo, puesto que los motores rotativos están basados en el movimiento giratorio, la operación del motor es más suave. Otro beneficio de este tipo de motor es la ausencia de válvulas, lo que reduce ampliamente el número de piezas. Los motores rotativos también solían ser significativamente más livianos y, a pesar de que los avances en la tecnología de los motores de pistones han reducido esta diferencia, los motores rotativos todavía son los más compactos entre ambos diseños.

En un motor rotativo, la temporización de los procesos de admisión y escape es determinada por la forma y la ubicación de las lumbreras (los canales a través de los cuales entran y salen los gases) en la pared de la carcasa del rotor. La modificación de la admisión y el escape de un motor rotativo consiste en cambiar la forma y la posición de estas lumbreras. Además, como los motores rotativos no tienen válvula de escape y los gases de escape se emiten directamente a través de la lumbrera de escape sin interferencias, estas funcionan bien con los turbocompresores.

En comparación con un motor de pistones, un motor rotativo está en desventaja en lo que respecta al consumo de combustible. Esto se debe al área de superficie relativamente grande en relación con la capacidad de la cámara de combustión, lo que provoca mayor pérdida de calor y baja eficiencia de conversión de energía térmica en energía mecánica.



# Admisión forzada

Un aumento en la cantidad de aire que fluye hacia el interior de un motor tendrá como resultado un aumento de potencia. La manera más simple de lograr esto es aumentar la cilindrada del motor.

Sin embargo, también es posible alcanzar un efecto similar sin alterar la cilindrada, mediante un proceso conocido como "admisión forzada". Esto implica forzar la entrada de una mayor cantidad de aire al motor mediante la compresión. Los dispositivos que realizan este proceso están separados en dos categorías: sobrealimentadores y turbocompresores.

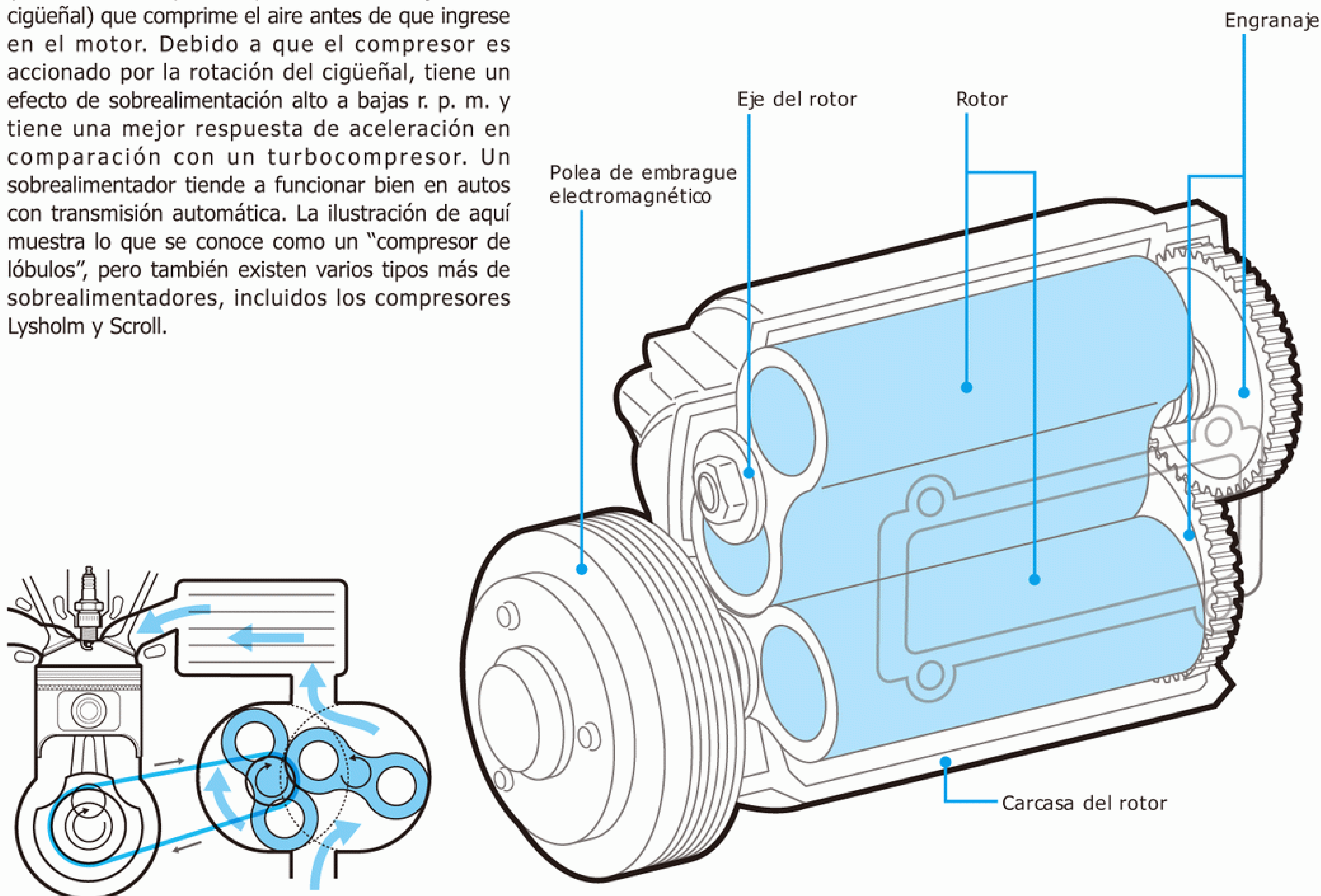
La cantidad de presión agregada cuando se comprime el aire es conocida como "sobrealimentación" y, cuanto mayor es esta sobrealimentación, mayor potencia se puede lograr. Una unidad de presión atmosférica equivale a 1 bar o a 1 kg/cm$^2$ de aire. Si la sobrealimentación es de 1 bar, esto suma un total de 2 bar de presión atmosférica (1 bar de presión de aire natural más 1 bar de sobrealimentación) de aire que ingresa en el motor, lo que duplica la cantidad normal.

El problema con la admisión forzada es que, a medida que la presión aumenta, la energía de la combustión también aumenta, y esto puede producir daños en el motor. Por esta razón, las piezas internas de los motores con turbocompresores y sobrealimentadores a menudo son reforzadas, lo que reduce el índice de compresión para resolver el problema de la combustión inadecuada.

Cuando se comprime el aire, se aumenta la temperatura y se baja su densidad. Este efecto es incluso más pronunciado en condiciones de conducción intensivas o en climas calurosos y

## Sobrealimentadores

Un sobrealimentador es un dispositivo (normalmente impulsado por una correa sujetada al cigüeñal) que comprime el aire antes de que ingrese en el motor. Debido a que el compresor es accionado por la rotación del cigüeñal, tiene un efecto de sobrealimentación alto a bajas r. p. m. y tiene una mejor respuesta de aceleración en comparación con un turbocompresor. Un sobrealimentador tiende a funcionar bien en autos con transmisión automática. La ilustración de aquí muestra lo que se conoce como un "compresor de lóbulos", pero también existen varios tipos más de sobrealimentadores, incluidos los compresores Lysholm y Scroll.



# Alcanzar el mismo efecto que el aumento de la cilindrada

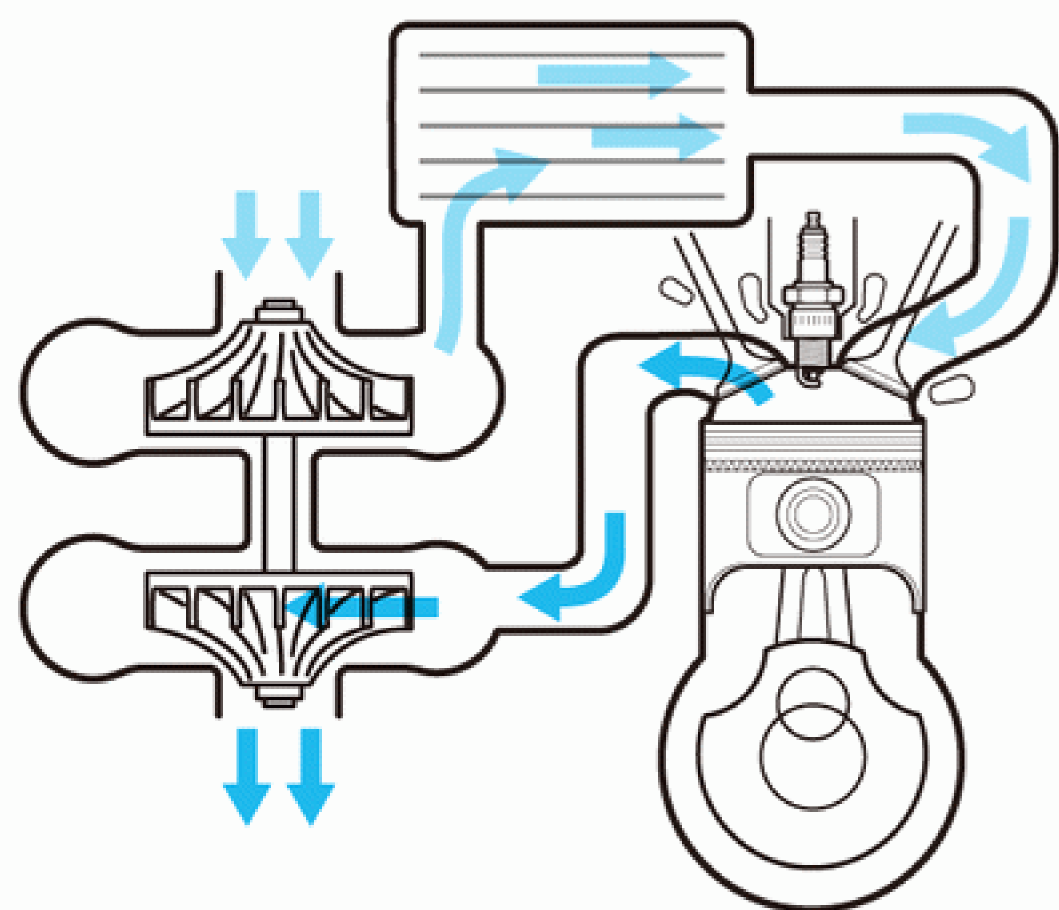
evita que el motor alcance la máxima potencia de salida. Se dice que un aumento de un grado en la temperatura produce una pérdida de, aproximadamente, 1 caballo de fuerza, de modo que es normal incluir un dispositivo intercooler para enfriar el aire comprimido.

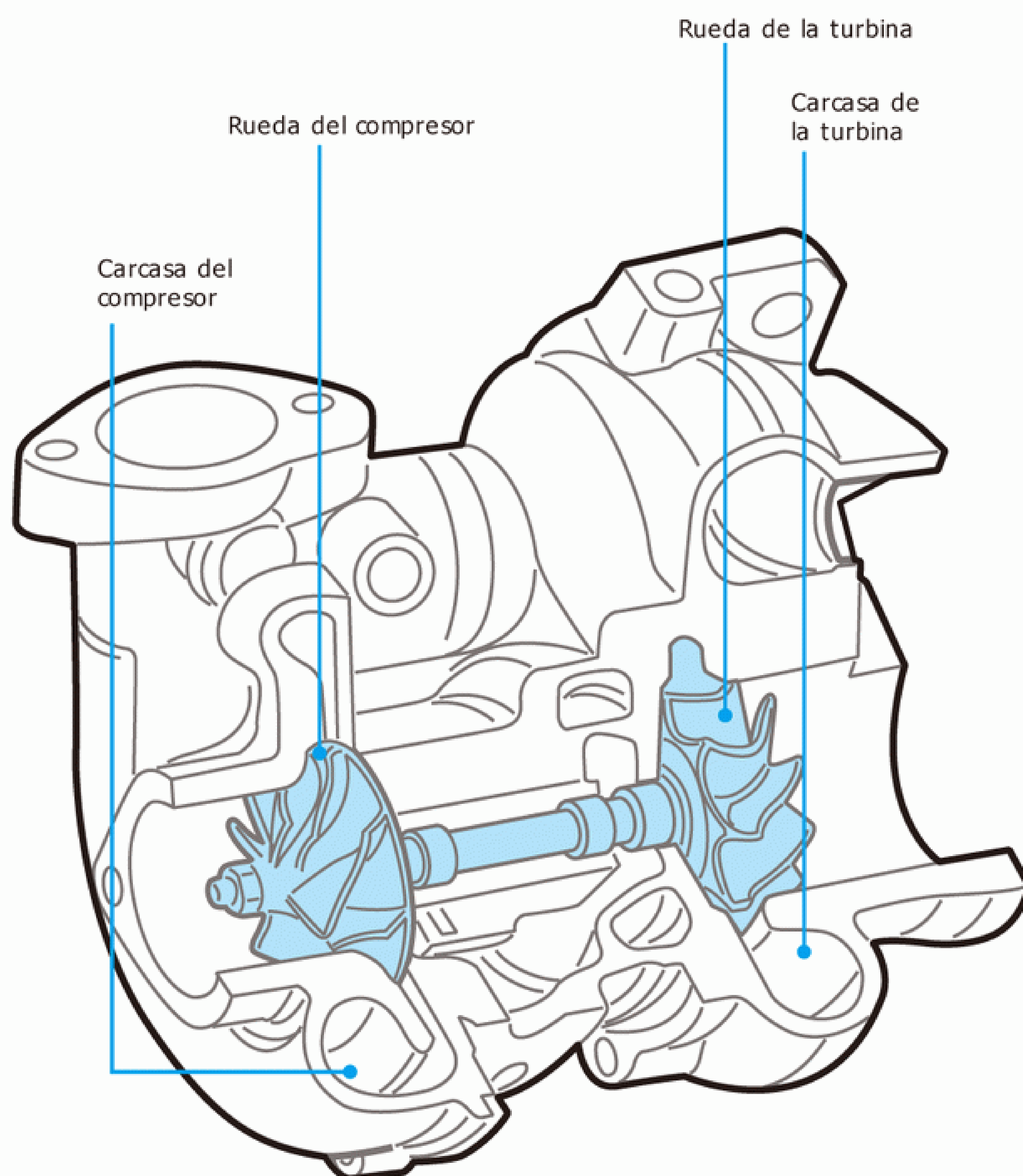
Los turbocompresores tardan en accionarse, ya que la admisión forzada de estos es potenciada por la energía del escape y hay un retardo hasta que aumenta la presión de carga. Por otra parte, los sobrealimentadores accionados por el cigüeñal del motor no sufren esta demora, pero quitan una pequeña cantidad de potencia del motor porque son impulsados por el cigüeñal.

Recientemente, los motores que explotan las prestaciones de ambas configuraciones y utilizan un sobrealimentador para las bajas revoluciones y un turbocompresor para las altas revoluciones han comenzado a captar el interés del público.

## Turbocompresores

Se los llama "turbo" por la turbina que acciona el compresor. Un turbocompresor usa los gases liberados a través del tubo de escape para hacer girar su turbina. Debido a que usa la energía de los gases de escape, no hay pérdida de potencia a altas revoluciones, como habría con un sobrealimentador. Sin embargo, a bajas r. p. m., cuando se producen menos gases de escape, la turbina no girará a velocidad operativa, y lleva tiempo para que la turbina comience a girar (acelerar) cuando se acelera. Esta demora momentánea en la respuesta se conoce como "demora de turbo". Varios sistemas se han diseñado para compensar esto y aún siguen evolucionando. En Europa, se está incrementando el uso de turbocompresores en motores pequeños para una economía de combustible mejorada.







## Sistemas híbridos

El propósito de un sistema híbrido es aumentar la economía de combustible, mediante la utilización de un motor de combustión y un motor eléctrico. Japón ha sido el líder en el desarrollo de autos híbridos y, a pesar de que estos sistemas híbridos se hicieron famosos principalmente por sus beneficios ambientales, los fabricantes de autos deportivos europeos han comenzado a desarrollar algunos sistemas que tienen el potencial para dar impulso a una nueva generación de vehículos de alto rendimiento.

La debilidad de un motor de combustión interna es su ineficacia durante la marcha en vacío y la aceleración cuando el vehículo está detenido. En cambio, un motor eléctrico puede generar el par máximo casi a cero revoluciones y, por su gran eficacia, puede compensar el mal rendimiento de un motor a bajas revoluciones. Un motor de combustión es más eficaz a alta velocidad, por lo tanto, la eficacia general del auto híbrido se logra al combinar las fortalezas de ambos sistemas.

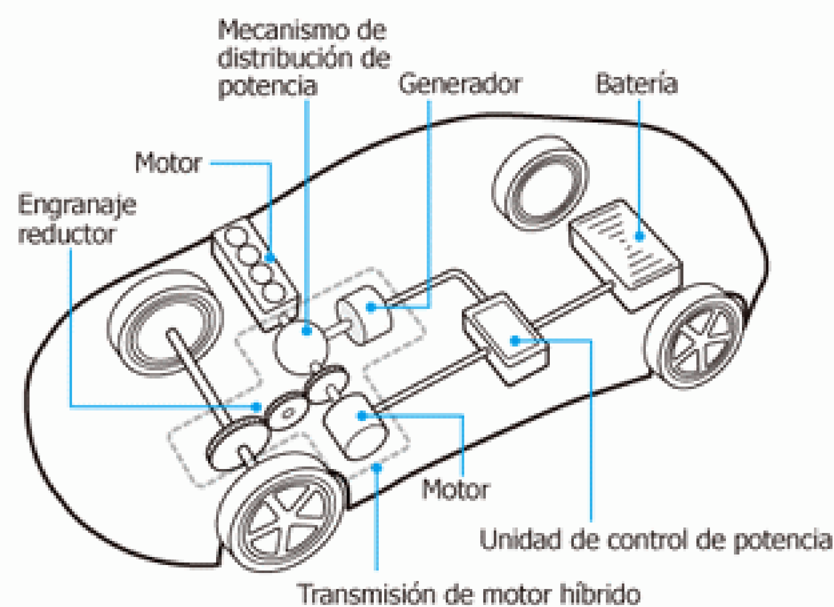
Otra ventaja de tener un motor eléctrico y una batería es que un sistema híbrido también se beneficia de la capacidad de recuperar energía. Cuando se desacelera quitando el pie del pedal o frenando, el motor actúa como un generador impulsado por la rotación de las ruedas, lo que recarga la batería. Esta energía luego puede volver a utilizarse para alimentar el motor. De esta manera, la energía generalmente desperdiciada como calor durante el frenado se puede reutilizar para generar electricidad.

Otro beneficio es que se puede hacer que el motor eléctrico se comporte como un sobrealimentador para el motor de explosión. Muchos híbridos desarrollados por fabricantes europeos de hecho ponen énfasis en esta ventaja y logran la sensación de conducción de un motor de alta cilindrada (con un motor de baja cilindrada) al agregar motores eléctricos en lugar de sobrealimentadores. Los sistemas híbridos y sus méritos difieren según la manera en la que el motor eléctrico y el motor de explosión funcionan en conjunto. Hay actualmente varios tipos de sistemas híbridos en el mercado, pero esa variedad probablemente seguirá creciendo. Los motores híbridos para superautos actualmente se encuentran en desarrollo y será interesante ver qué tipo de sistema se adoptará para utilizar en el futuro.

# Conducir con motor de explosión y motor eléctrico

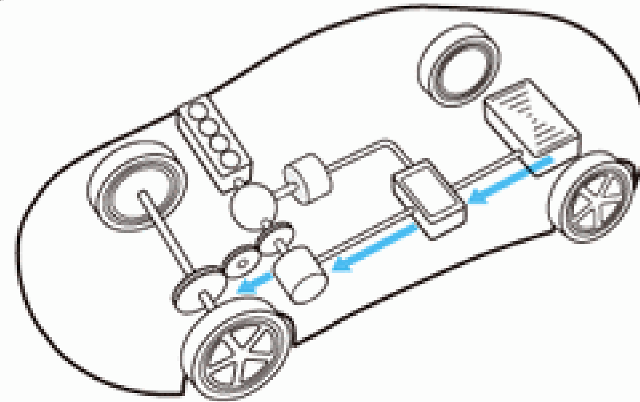
## Toyota Prius

### Descripción general del sistema



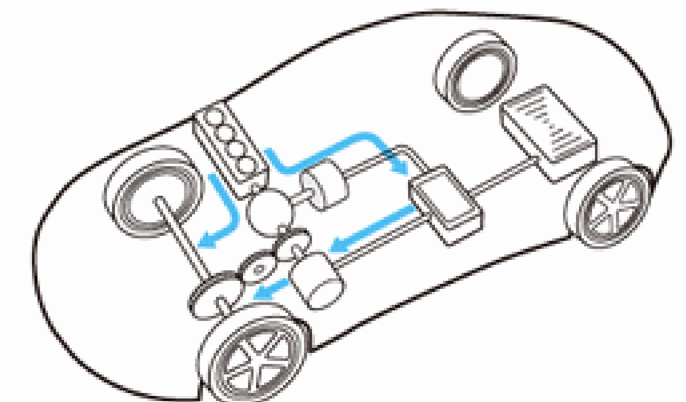

### Durante la puesta en movimiento tras la detención total o a velocidad baja o media

Cuando se acelera desde la salida o se conduce a velocidades de bajas a medias, el motor no es eficaz y se detiene. La potencia de impulsión se genera únicamente a través del motor.



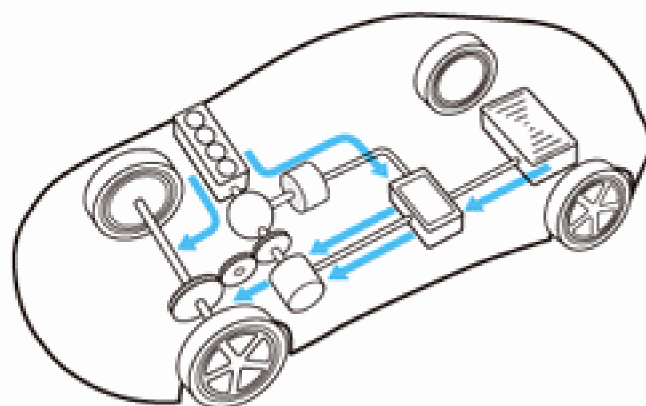
### Conducción normal

La potencia del motor de explosión se divide en dos sistemas a través del mecanismo de distribución de potencia: uno para accionar el generador y uno para impulsar directamente las ruedas.



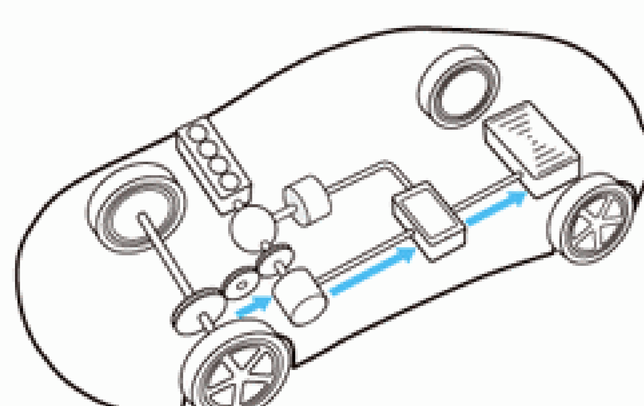
### Aceleración rápida

Sobrealimentación de la batería. Se combinan las potencias de impulsión del motor de explosión y del motor eléctrico, y con esto se obtiene una buena respuesta y una aceleración suave.



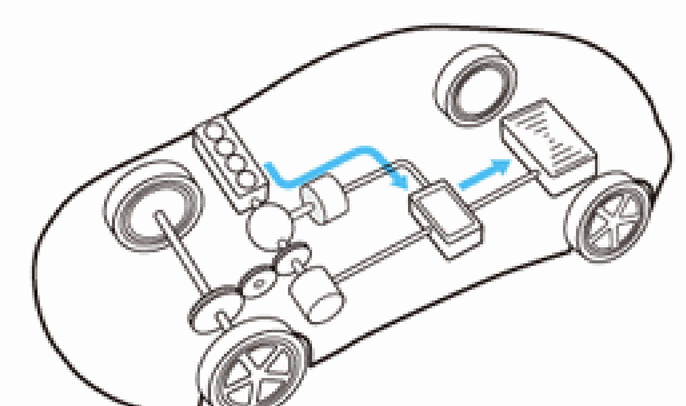
### Desaceleración y frenado

Las ruedas impulsan el motor eléctrico, que funciona como un generador, lo que transforma de manera eficiente la energía de frenado del auto en electricidad, que se usa para recargar la batería (fenómeno también denominado "recuperación de la frenada").



### Carga de la batería

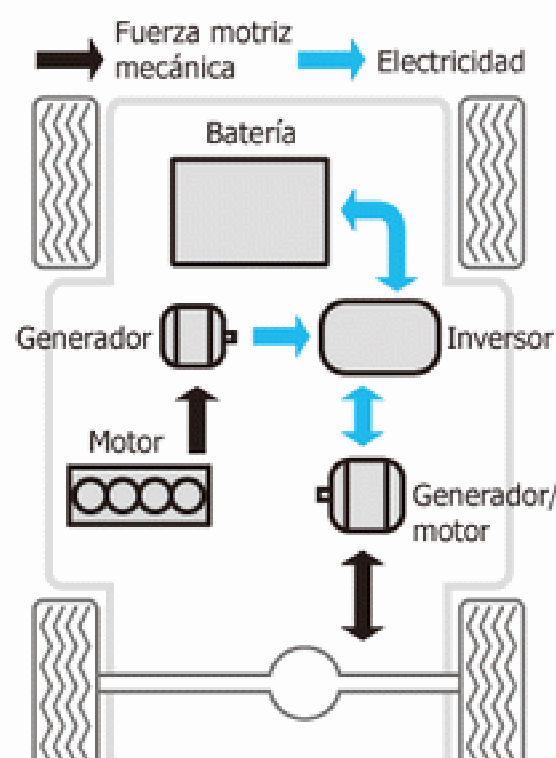
La batería está diseñada para mantener un nivel de carga constante. Cuando la batería tiene carga baja, el motor de explosión se enciende, impulsa el generador y recarga la batería.



## Tipos de sistemas híbridos

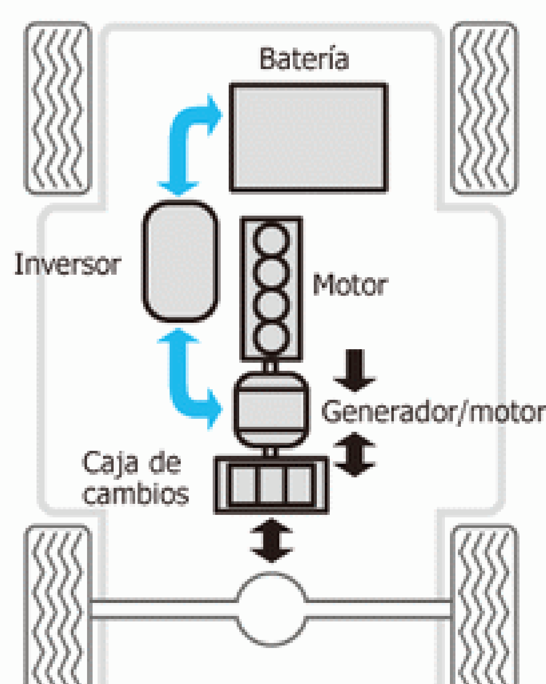
### Híbrido en serie

El rol del motor de explosión es simplemente hacer girar el generador, y el motor eléctrico solamente impulsa el auto. Este sistema es simple, y el motor de explosión se puede ubicar donde se desee. Básicamente, se trata de un auto eléctrico con un generador.




### Híbrido paralelo

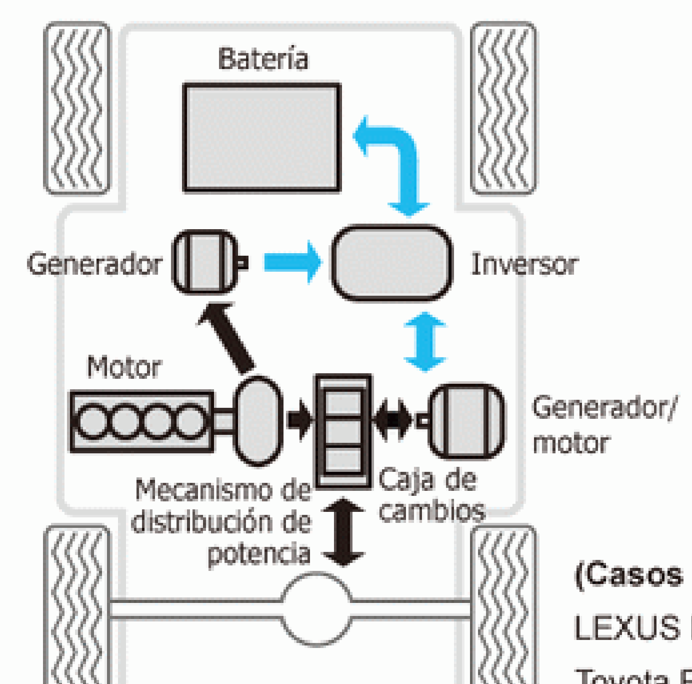
El motor de explosión y el motor eléctrico funcionan en paralelo. El motor eléctrico generalmente está ubicado entre el motor de explosión y la transmisión, con lo que se obtiene una alta productividad. El motor de menor tamaño, de todos modos, desempeña el papel más importante en la administración de fuerza de impulsión, y el propósito de este es asistir al motor de explosión en un intento por combinar el rendimiento de la conducción y la economía de combustible.




**(Casos prácticos)**
Honda INSIGHT
Honda CIVIC Hybrid

### Híbrido en serie-paralelo

También conocido como híbrido de potencia dividida. El mecanismo de distribución de potencia utiliza un engranaje planetario para dividir la potencia entre el generador y el motor. Durante la aceleración inicial, y a bajas velocidades, la batería suministra la energía, mientras que durante condiciones de funcionamiento normal el motor funciona al rango de r. p. m. eficiente y, al mismo tiempo, acciona el generador y carga la batería.




**(Casos prácticos)**
LEXUS HS250h
Toyota Prius

# Palabras clave sobre el rendimiento

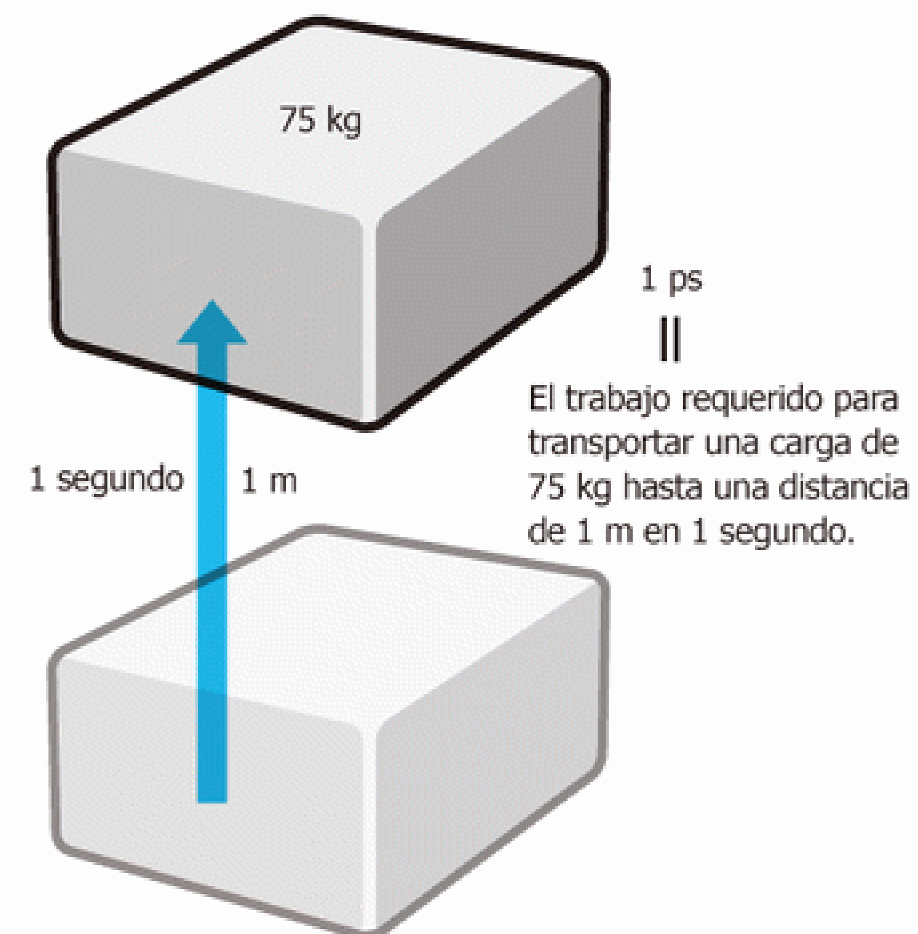
Cuando mires las especificaciones en el catálogo de un vehículo, te encontrarás con gran cantidad de números y términos específicos. Es importante comprenderlos bien para entender realmente las características y el potencial de un auto.

Hay cinco términos básicos que definen el potencial de un motor. Seguramente, crees estar familiarizado con algunos términos, como "caballos de fuerza" y "par motor", pero vamos a darles un vistazo más de cerca para que podamos entender realmente qué significan para el rendimiento de un vehículo.




## Caballos de fuerza

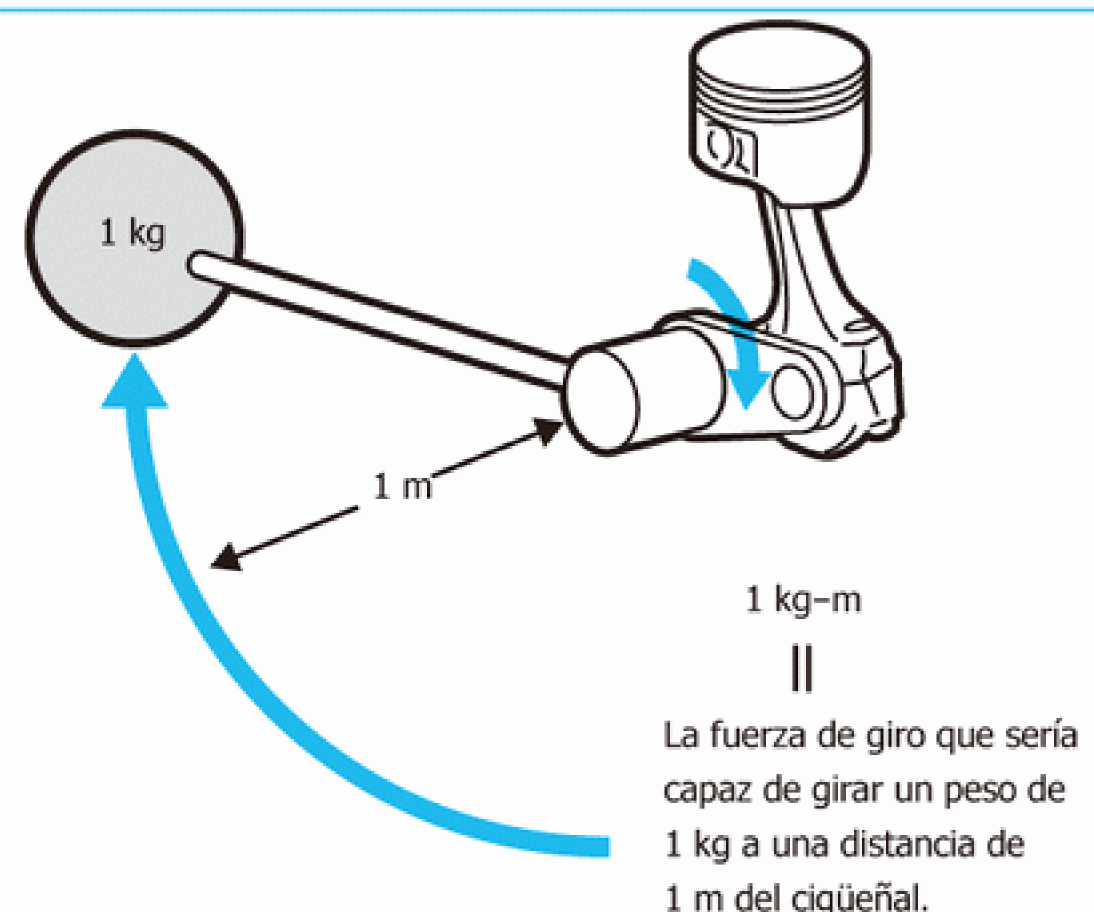
Los caballos de fuerza representan el límite superior de la capacidad del motor y, a menudo, se miden en unidades denominadas "ps" o "hp". Un caballo de fuerza representa la capacidad del motor para llevar una carga de 75 kg de peso hasta una distancia de un metro en un segundo. En otras palabras, un motor de 100 hp que funciona a máxima potencia puede transportar una tonelada hasta una distancia de 7,5 metros en un segundo. Los caballos de fuerza se calculan mediante la multiplicación del par motor por las revoluciones del motor, de modo que un motor de baja cilindrada igualmente puede proporcionar una gran cantidad de potencia de salida, si logra alcanzar revoluciones suficientemente altas. Internacionalmente, los caballos de fuerza a veces se especifican en kW (1 ps = 0,735 kW).




## Par motor

El par motor es una medida para la fuerza de giro. Por ejemplo, si se usa una fuerza de 1 kg para hacer girar una tuerca con una llave de un metro de largo, se ejerce una fuerza de giro de 1 kg/m. En términos de motores, el par motor describe la fuerza que se ejerce para girar el cigüeñal.

Cuanto más alto es el par motor, mayor es la potencia que mantiene las revoluciones del motor y más fácil resulta para el piloto controlar el motor.



## Cilindrada/Número de cilindros

"Cilindrada" describe el volumen de la mezcla de aire y combustible aspirada por un motor. En un motor de pistones, esto se calcula mediante la multiplicación del volumen de los cilindros, donde el pistón se corresponde con el número de cilindros.

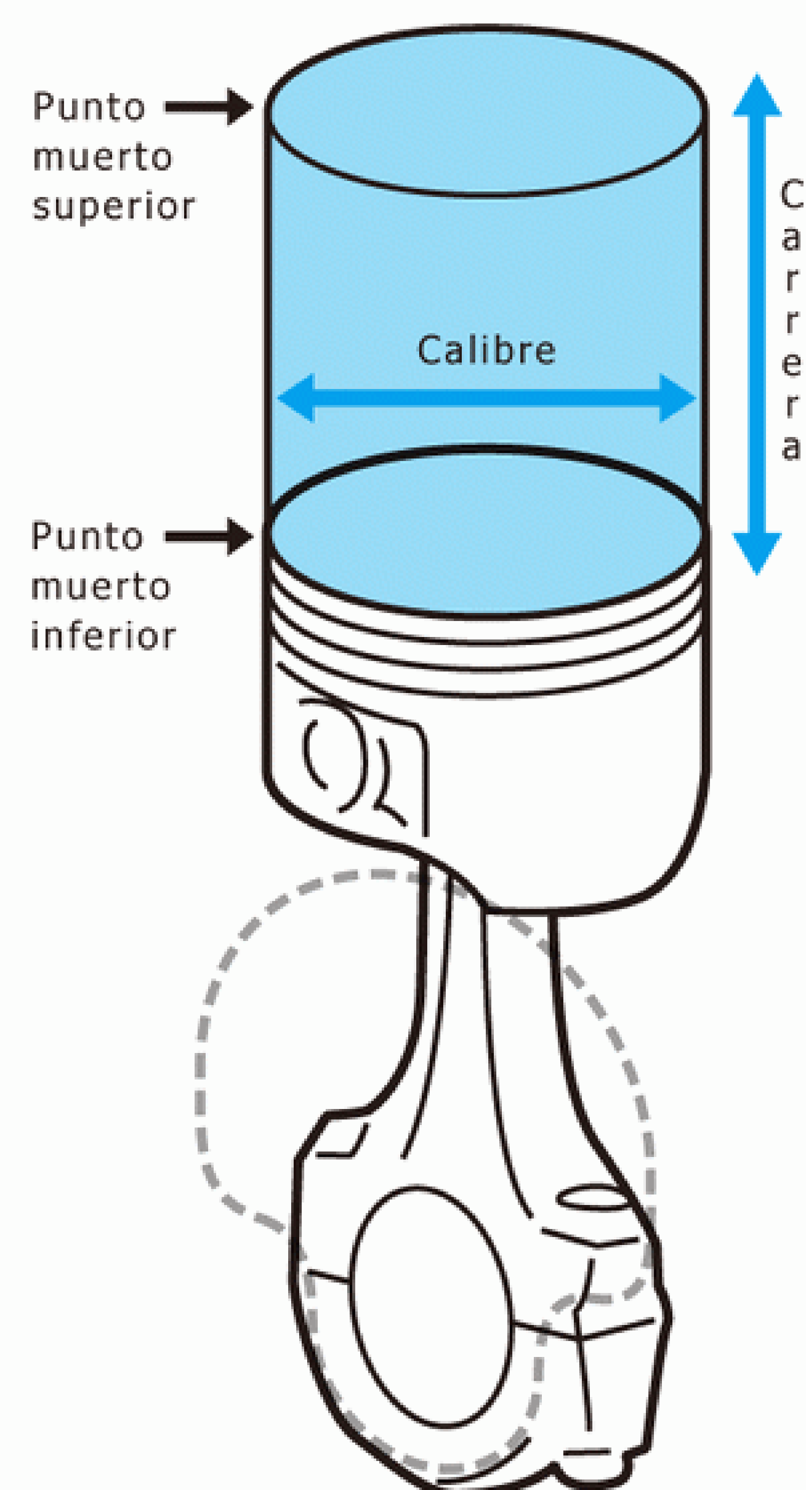
Cuanto mayor es la cilindrada, mayor es la potencia de salida, pero cuanto más grande es el volumen de un solo cilindro, más suavemente girará el motor. Es por eso que el número de cilindros se incrementa para mantener bajo el volumen por cilindro. Además, al incrementar el número de cilindros, también se incrementa el número de ciclos de combustión por cada rotación del cigüeñal y la revolución del motor resulta más armoniosa.

En términos generales, la cilindrada de un cilindro debe estar entre los 350 cc y los 600 cc. Sin embargo, los motores con muchos cilindros son más caros, de modo que el tamaño de los cilindros generalmente es determinado por el tamaño y la clase del vehículo.

## Relación calibre/carrera

La relación calibre/carrera es la relación entre el diámetro del cilindro y el largo del movimiento del pistón en el interior del cilindro. Los motores con un calibre inferior a 1:1 se conocen como motores de "carrera corta", mientras que los motores con una relación de más de 1:1 son de "carrera larga". Una relación de exactamente 1:1 es conocida como "cuadrada". El tamaño de la relación calibre/carrera afecta la manera en la que se comporta el motor. En términos generales, un motor de carrera larga puede producir par a revoluciones bajas o a medias, pero la potencia a revoluciones altas es más difícil de alcanzar, mientras que lo opuesto es verdadero para un motor de carrera corta.

También es útil saber que, cuando el pistón se encuentra en el punto más alto del cilindro se dice que está en "punto muerto superior" y cuando se encuentra en el punto inferior del cilindro se dice que está en "punto muerto inferior".



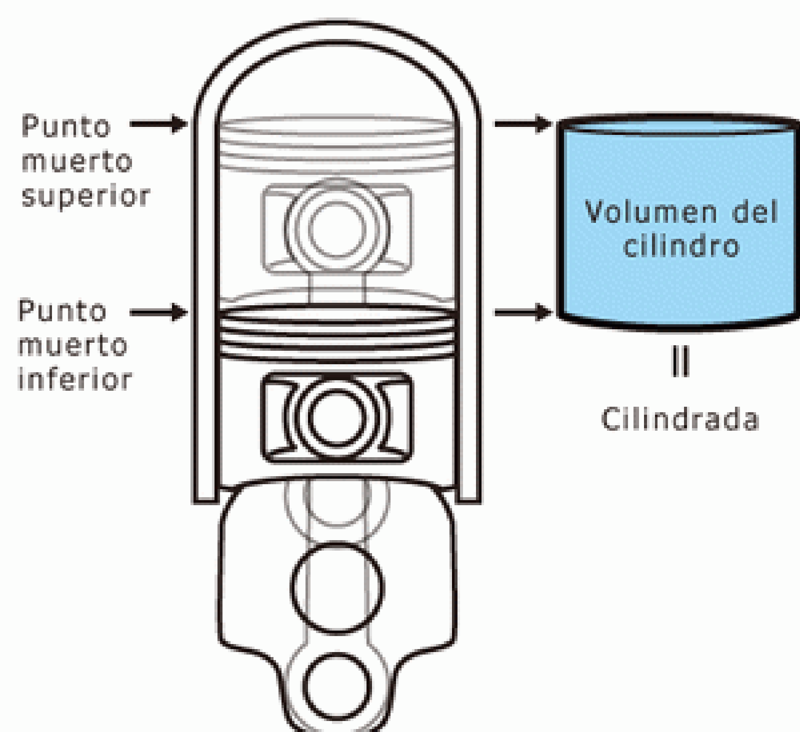

## Índice de compresión

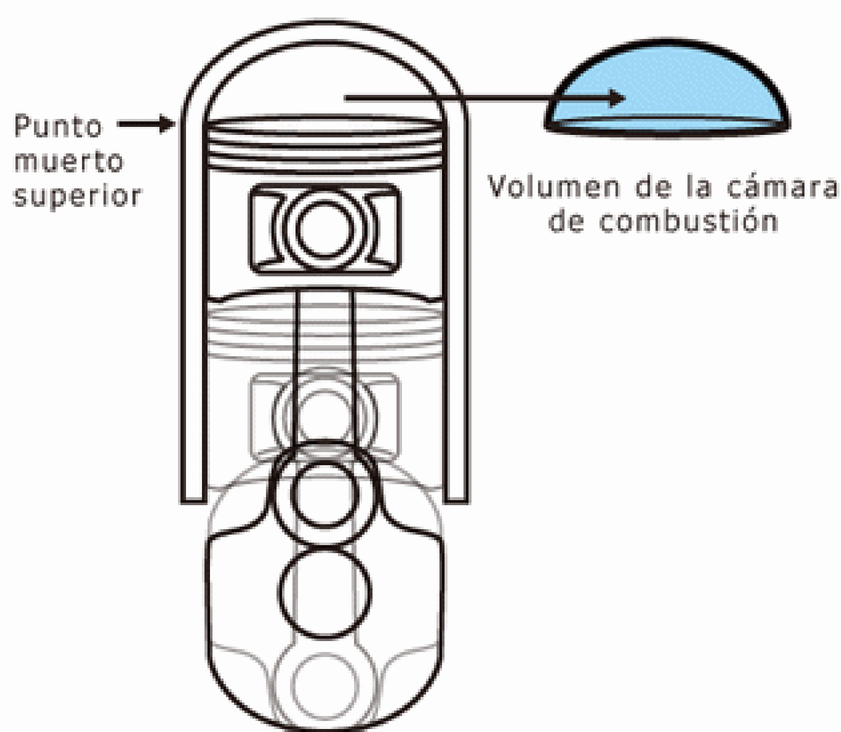
El índice de compresión describe de qué manera se comprime la mezcla de aire y combustible aspirada por el motor. La potencia del motor es influenciada en gran medida por el índice de compresión.

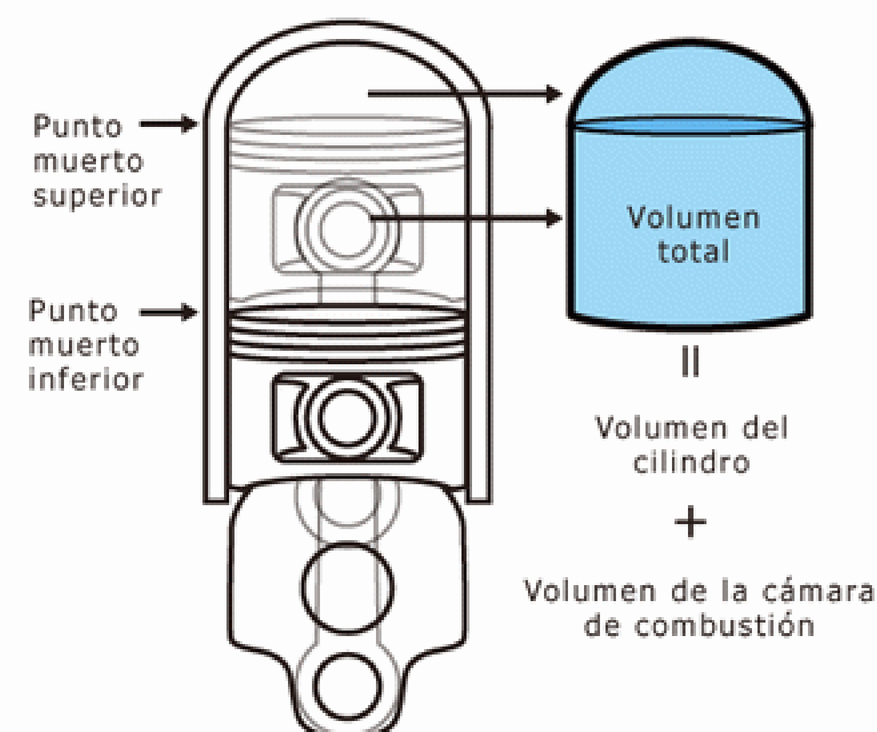
El índice de compresión se calcula mediante la división del volumen del cilindro cuando está completamente abierto ("volumen total de cilindro") por su volumen cuando está completamente cerrado ("volumen de cámara de combustión"). El volumen total del cilindro es la cilindrada más el volumen de la cámara de combustión.

Por ejemplo, en un motor de 2000 cc y cuatro cilindros, la cilindrada por cilindro es de 500 cc. Si el volumen de la cámara de combustión es de 50 cc, el volumen de cilindro total es de 550 cc. 550 cc dividido por el volumen de la cámara de combustión (50 cc) da como resultado un índice de compresión de once.

Típicamente, los motores de aspiración natural tienen un índice de compresión entre nueve y once. Las relaciones de compresión superiores a diez producen una potencia de alta salida para la cantidad de desplazamiento. Los motores con dispositivos de admisión forzada generalmente tienen índices de compresión entre siete y nueve.



TREN DE TRANSMISIÓN

**CAPÍTULO 02** Mecanismo

# Convertir potencia en velocidad

**El engrane y la tracción son necesarios para convertir la potencia en velocidad. Las piezas del tren de potencia tienen un impacto masivo en el rendimiento.**

## Transmisión

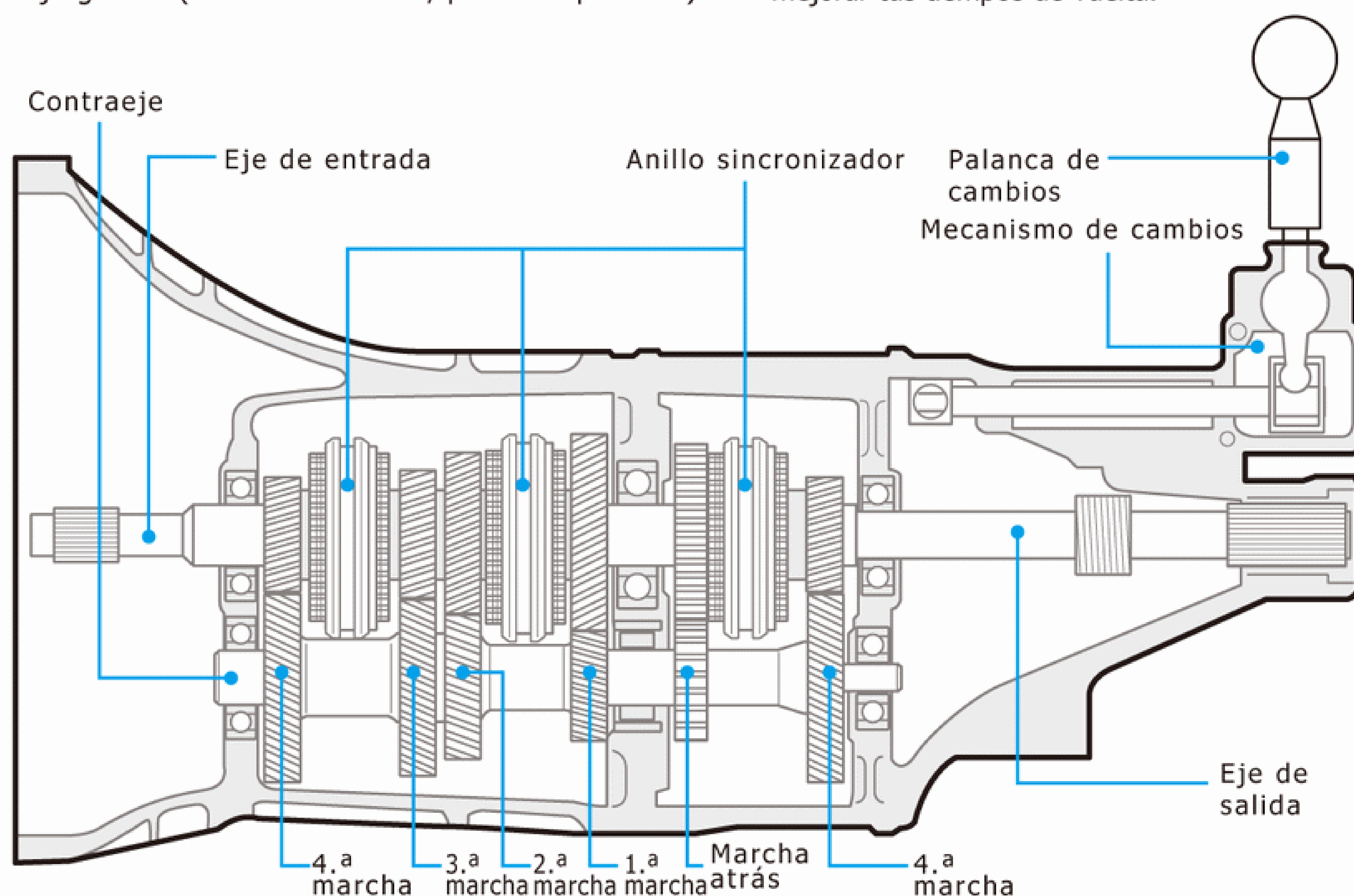
Un motor gira entre muchos cientos de veces y muchos miles de veces por minuto. Esto sería demasiado rápido para que las ruedas giren directamente, de modo que se necesita un mecanismo intermedio. Aquí es donde entra en juego la transmisión. La transmisión usa diferentes engranajes para transmitir la cantidad adecuada de potencia y velocidad a las ruedas en una situación dada.

Veamos cómo funcionan las marchas. Si un engranaje pequeño acciona un engranaje más grande, el engranaje más grande girará más lentamente, pero su par motor será mayor. Inversamente, si un engranaje grande acciona un engranaje más pequeño, el engranaje pequeño girará más rápido, pero con un par motor menor.

La transmisión puede hacer uso de estos principios para usar la marcha adecuada para la situación adecuada. Un auto necesita más potencia cuando se mueve tras estar completamente detenido y solo necesita una pequeña cantidad de potencia para mantener una velocidad constante. De esta manera, al acelerar desde una posición de reposo total se usa un engranaje grande (con rotación lenta, pero alta potencia) para transmitir la potencia necesaria para poner el auto en movimiento.

Un engranaje grande crea un par motor alto, pero gira lentamente. Esto quiere decir que, en la primera marcha, incluso si se hace girar el motor hasta el máximo de velocidad, sólo se obtendrán velocidades de varias decenas de kilómetros por hora. Por eso se utilizan varios engranajes, que se van haciendo cada vez más pequeños, a medida que el piloto sube la marcha, y producen más velocidad y menos par motor. La capacidad para moverse libremente entre estos engranajes permite al piloto usar la marcha adecuada para la situación adecuada.

En un auto real, además de las marchas de la transmisión que están conectadas directamente al motor, la relación de las marchas completa se determina por la combinación con otra "última marcha" que se encuentra entre la transmisión y las ruedas motrices. La relación de marchas puede afectar enormemente las características de conducción de un auto y, en las carreras en circuitos, la selección de las marchas adecuadas para el circuito en cuestión será un elemento fundamental para mejorar tus tiempos de vuelta.



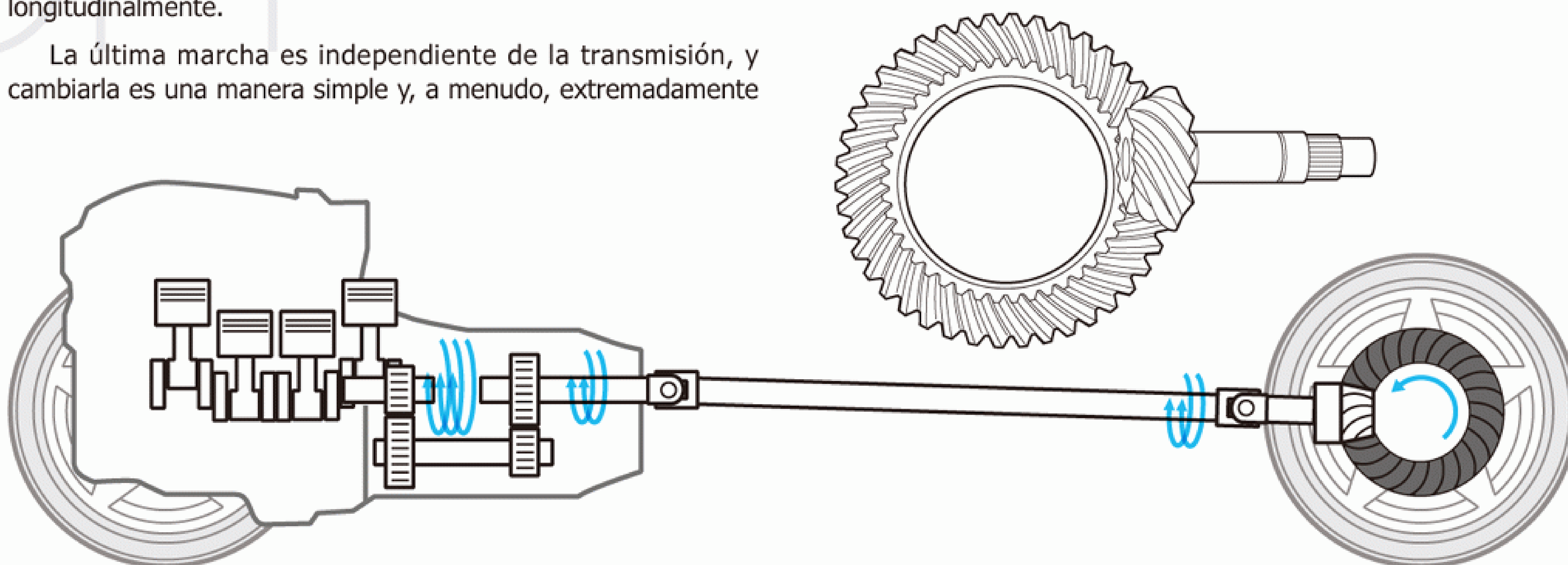

[Diagrama estructural de transmisión manual]

# Aprovechamiento eficiente de la potencia de impulsión

## La última marcha

La marcha que interviene en la transmisión final de potencia desde el motor hasta las ruedas motrices se conoce como "última marcha". Es el último paso en la cadena que reduce las revoluciones del motor hasta una velocidad adecuada para impulsar las ruedas, y también cambia la dirección de la potencia en 90°, en los autos cuyo motor está montado longitudinalmente.

La última marcha es independiente de la transmisión, y cambiarla es una manera simple y, a menudo, extremadamente sencilla de ajustar la manera en la que se comporta un auto. En los autos deportivos, la relación de la última marcha a menudo es grande de modo de mejorar el rendimiento de aceleración, pero si el objetivo principal es la economía de combustible, se puede usar una relación más pequeña para reducir las revoluciones en general.



### Tipos de transmisiones de dos pedales

#### AT

► Transmisión automática

Una transmisión común que usa un convertidor de par (un tipo de acoplamiento fluido) para cambiar automáticamente la marcha según la velocidad y las r. p. m. del motor. El sistema utiliza engranajes planetarios controlados por presión hidráulica. Tiene la ventaja de brindar una transición suave entre las marchas, pero el patinaje hidráulico y la pérdida de potencia que ocasiona el mecanismo pueden redundar en una mala economía de combustible.

#### TVC

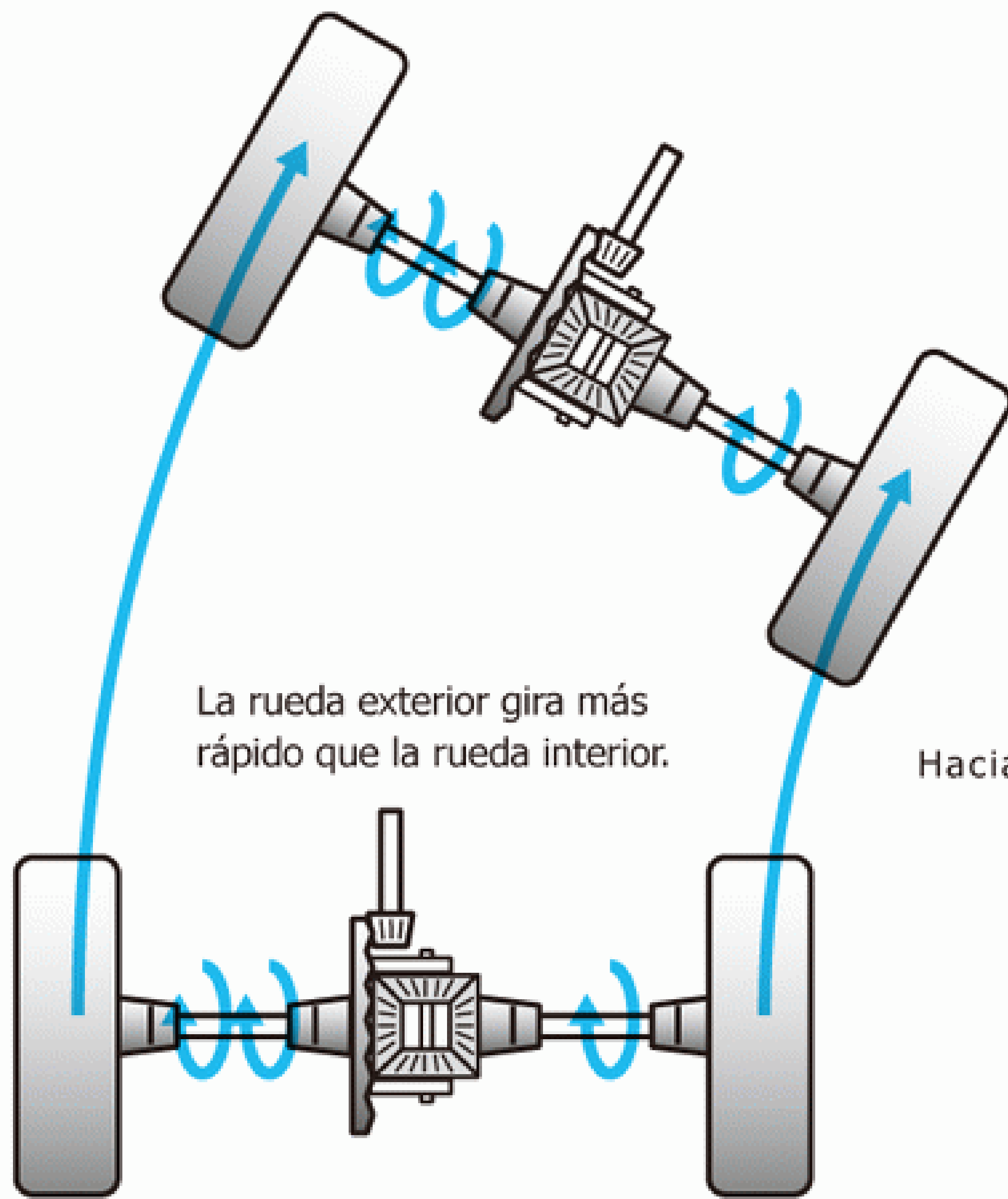
► Transmisión de variación continua

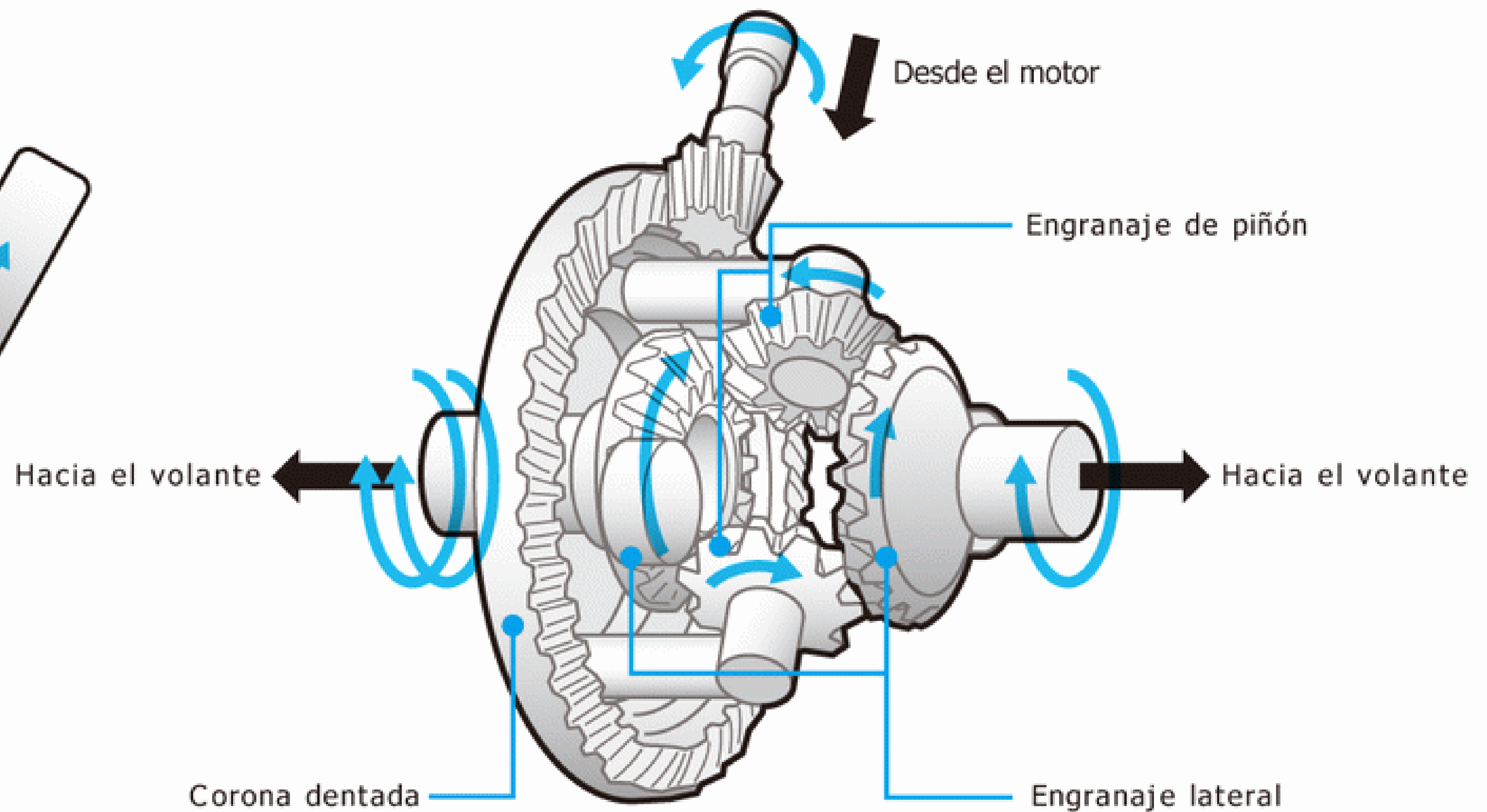
Una transmisión de variación continua no realiza cambios entre marchas, de a una por una, como una transmisión normal. En cambio, usa una correa o una cadena metálica conectada a dos poleas o discos para variar de manera suave y continua la relación de las marchas. Es extremadamente suave y no produce golpes con los cambios, lo que permite que el motor funcione con una eficacia máxima en casi cualquier condición.

#### DCT

► Transmisión de doble embrague

Transmisión de doble embrague es, básicamente, un sistema en el que las operaciones de una transmisión manual se automatizan con el uso de dos embragues. Las marchas pares e impares se separan en dos ejes y al intercambiarlos instantáneamente con el embrague, el rendimiento de cambio de marchas supera el de las transmisiones manuales. En la transmisión automática, el límite de giro del engranaje planetario restringe las r. p. m. máximas del motor, pero la DCT es compatible con los motores de altas r. p. m. Este es un sistema de transmisión que continuará creciendo en adelante, lo que la hace adecuada para los autos deportivos y ecológicos.




## Diferencial

Un diferencial es absolutamente esencial en autos con ruedas motrices, tanto en el lado izquierdo como en el lado derecho. Si solamente condujéramos en líneas rectas, los diferenciales no serían necesarios; pero tan pronto como un auto gira en una curva, la necesidad de que esté equipado con un diferencial se vuelve muy clara.

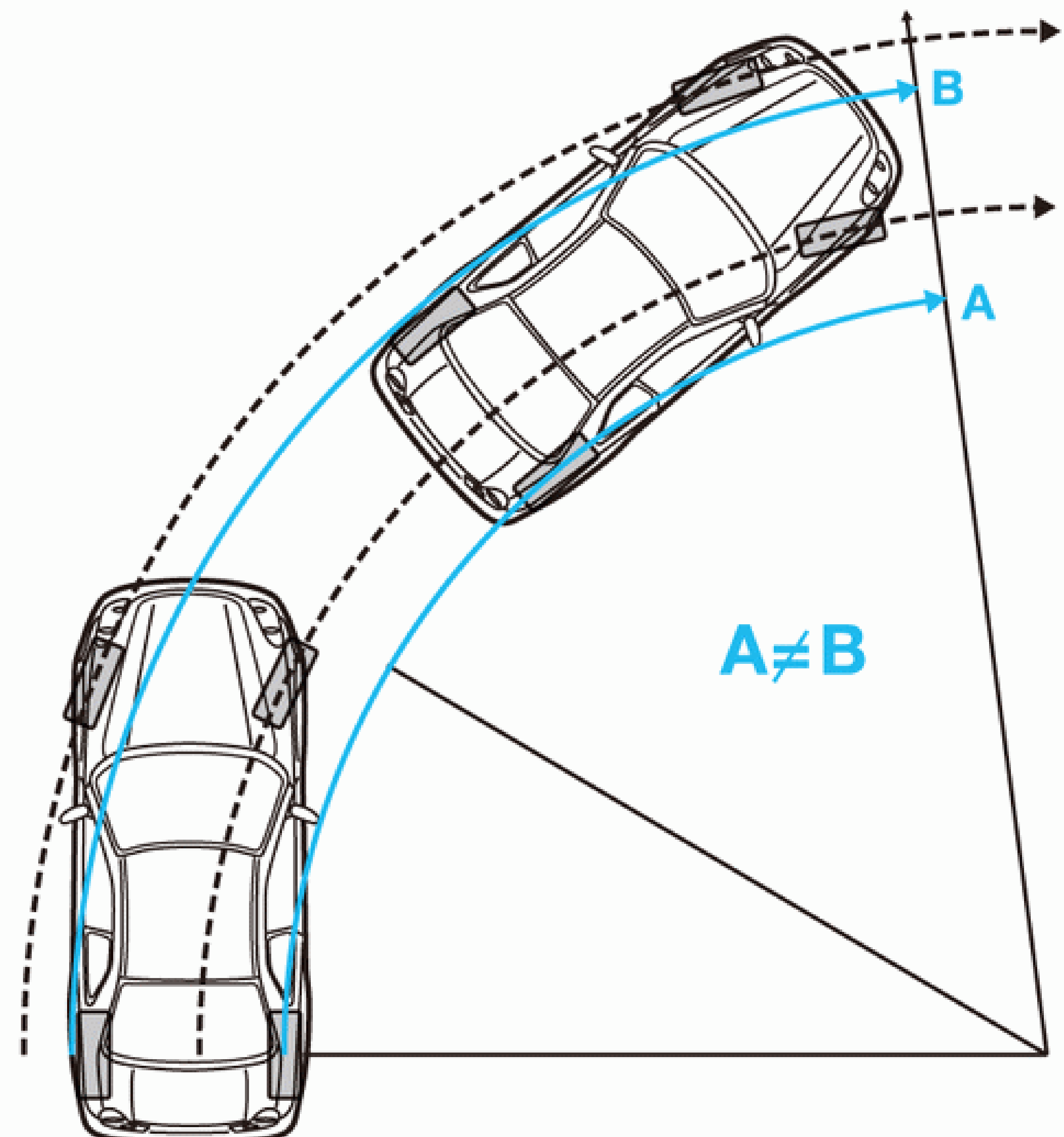
En las curvas, las ruedas que están en la parte exterior de la curva tienen que realizar un recorrido más grande que las ruedas del interior. Si las ruedas motrices interiores y exteriores no se pueden hacer girar a diferentes velocidades cuando esto sucede, la rueda interior ofrecerá resistencia y patinará, y será difícil que el auto vire. El diferencial es un tipo de engranaje, integrado con la última marcha, ubicado entre las ruedas motrices para resolver este problema.

Observa el diagrama ubicado en la esquina superior derecha. La potencia del motor es transmitida a través de la última marcha hasta la corona dentada. La corona dentada tiene dos engranajes de piñón fijados a ella, que a su vez hacen girar los dos engranajes laterales adyacentes y estos engranajes transfieren la potencia a las ruedas izquierda y derecha.

Cuando el auto se mueve en línea recta, la rotación de la última marcha acciona la corona dentada, que hace girar a los engranajes de piñón y transmite la potencia de manera uniforme a ambos engranajes laterales. Por lo tanto, las ruedas izquierda y derecha giran a la misma velocidad.

Sin embargo, en las curvas, la resistencia es generada por la rueda ubicada en el interior de la curva, y esto se transmite hasta el engranaje lateral correspondiente. Cuando esto ocurre, los engranajes de piñón, que hasta ahora giraban de manera uniforme con los engranajes laterales sin girar, comenzarán a girar para permitir que se genere una diferencia de velocidad de rotación entre las ruedas izquierda y derecha.

Esto significa que se transmitirá un poco menos de potencia a la rueda que encuentra resistencia en la parte interior de la curva y un poco más a la rueda que recorre una distancia mayor en el lado exterior, y que cada rueda girará a la velocidad correcta para tomar la curva.



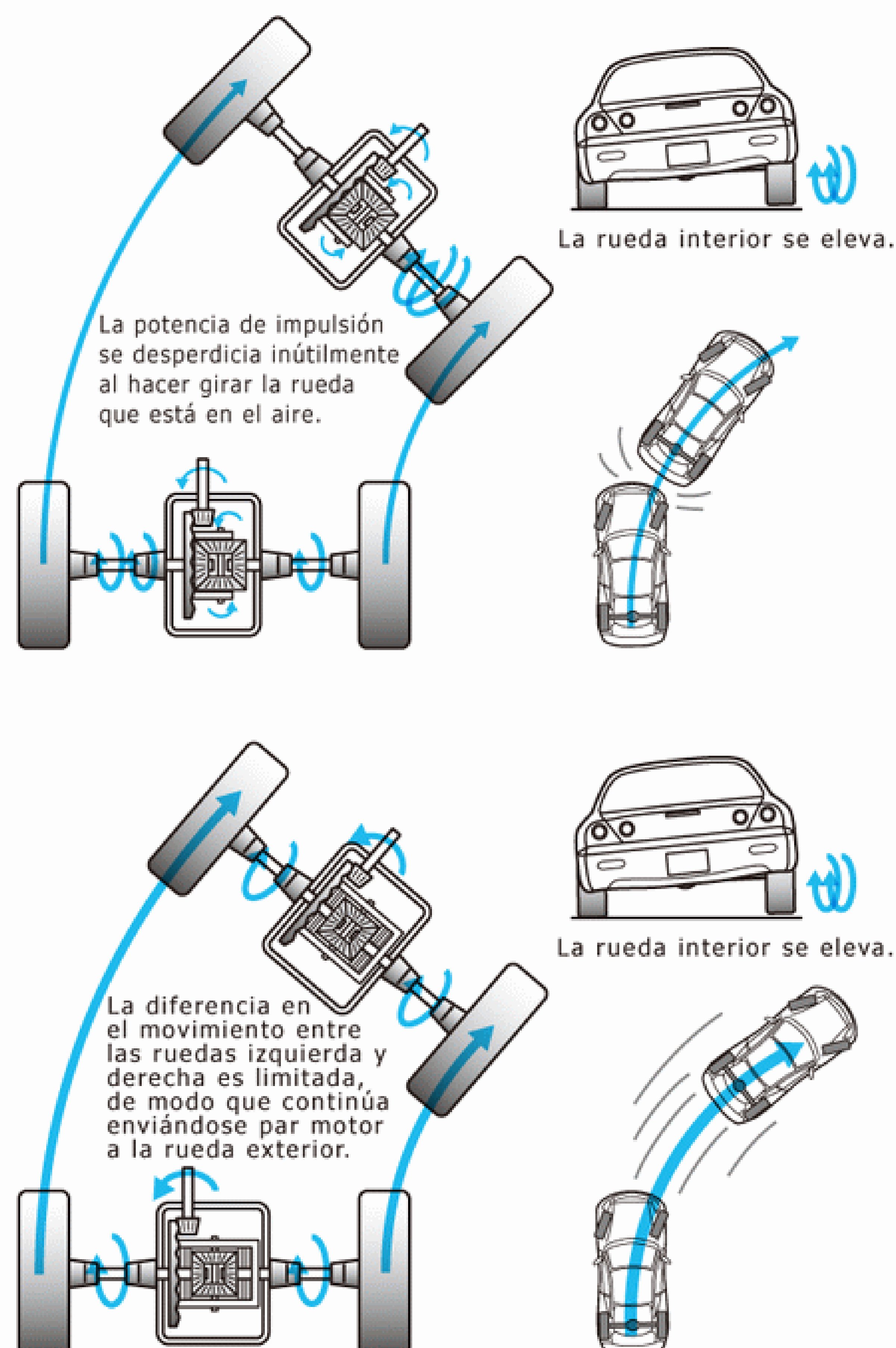
# Viraje suave y controlado

## Diferencial de desplazamiento limitado

En el momento de tomar curvas, el diferencial presenta una desventaja. Si una de las ruedas motrices pierde contacto con la superficie de la carretera, la otra rueda no recibe potencia de impulsión y la rueda que no está en contacto con el suelo girará libremente. Esto se debe a que el diferencial está intentando corregir la diferencia en la rotación mediante la transferencia de toda la fuerza de impulsión a esta rueda. Este fenómeno también se puede ver en los autos atascados en el hielo o en la nieve, donde la pérdida total de tracción en una sola rueda motriz nuevamente hace que esa rueda gire inútilmente.

Un diferencial de desplazamiento limitado (LSD) es un sistema que está diseñado para suprimir la función de un diferencial cuando hay más de una cierta diferencia en la velocidad de rotación entre las ruedas derechas e izquierdas. La idea de un LSD es asegurar que la cantidad correcta de potencia de impulsión se distribuya entre las ruedas motrices usando un dispositivo para limitar la diferencia en la velocidad de giro entre los dos engranajes laterales. Existen muchas maneras de lograr esto, entre las que se incluyen: sistemas de embragues múltiples, sistemas controlados eléctricamente y sistemas que se valen de la fricción que actúa en los fluidos viscosos

En los autos deportivos, los LSD no se usan tanto para escapar del barro y de los baches con nieve como para asegurar un uso efectivo de la potencia de impulsión y para mejorar el manejo.




### Tipos de LSD

#### Sensible al par motor

Un sistema que emplea engranajes especialmente diseñados. Cuando hay una diferencia de par entre las ruedas izquierda y derecha, la resistencia aumenta entre estas marchas y esto limita la cantidad de diferencia que puede ocurrir. Como estos sistemas pueden limitar estrictamente en la diferencia de velocidad del volante de dirección, son efectivos para exigir situaciones de conducción desafiantes, como la conducción en circuitos y su tiempo de respuesta también es muy corto. Existen otros tipos más de LSD sensibles al par, incluidos los multiplato, Torsen y helicoidales.

#### Sensible a la velocidad

Estos sistemas generalmente limitan el diferencial mediante un aceite siliconado viscoso en lugar de engranajes. El sistema más común de este tipo es el de tipo viscoso, que usa la resistencia a la degradación del aceite, pero también están los sistemas denominados “de orificio”, que usan la resistencia del aceite que se mueve a través de pequeños orificios. En estos sistemas y los sensibles al par no pueden limitar el movimiento, y su respuesta no es tan buena, pero son más fáciles de controlar en superficies de baja tracción.

#### Control activo

Sistemas controlados electrónicamente que usan una computadora para reunir y recopilar información de los sensores y controlan la diferencia en la rotación de las ruedas motrices. Muchos autos de competición, particularmente los de rally del WRC, usan estos sistemas y en algunos vehículos comerciales también se han adoptado. La limitación del funcionamiento del diferencial se controla con la presión de la placa de fricción, a través de un embrague hidráulico o electromagnético.

# El bastidor que todo lo soporta

**La forma y la construcción de la carrocería de un auto pueden afectar su rendimiento tanto como el motor y la transmisión. Este es el elemento fundamental que determina el control.**

## Requisitos de rendimiento de la carrocería

Junto con el motor y la suspensión, la carrocería constituye el bastidor básico que determina cómo se comportará un auto. Las cualidades más deseables de la carrocería de un auto son la rigidez, la resistencia y, una vez que se establecieron estas dos, una construcción liviana. La mejor manera de concebir la rigidez y la resistencia es en términos de "resistencia contra la deformación" y "resistencia a las roturas" respectivamente.

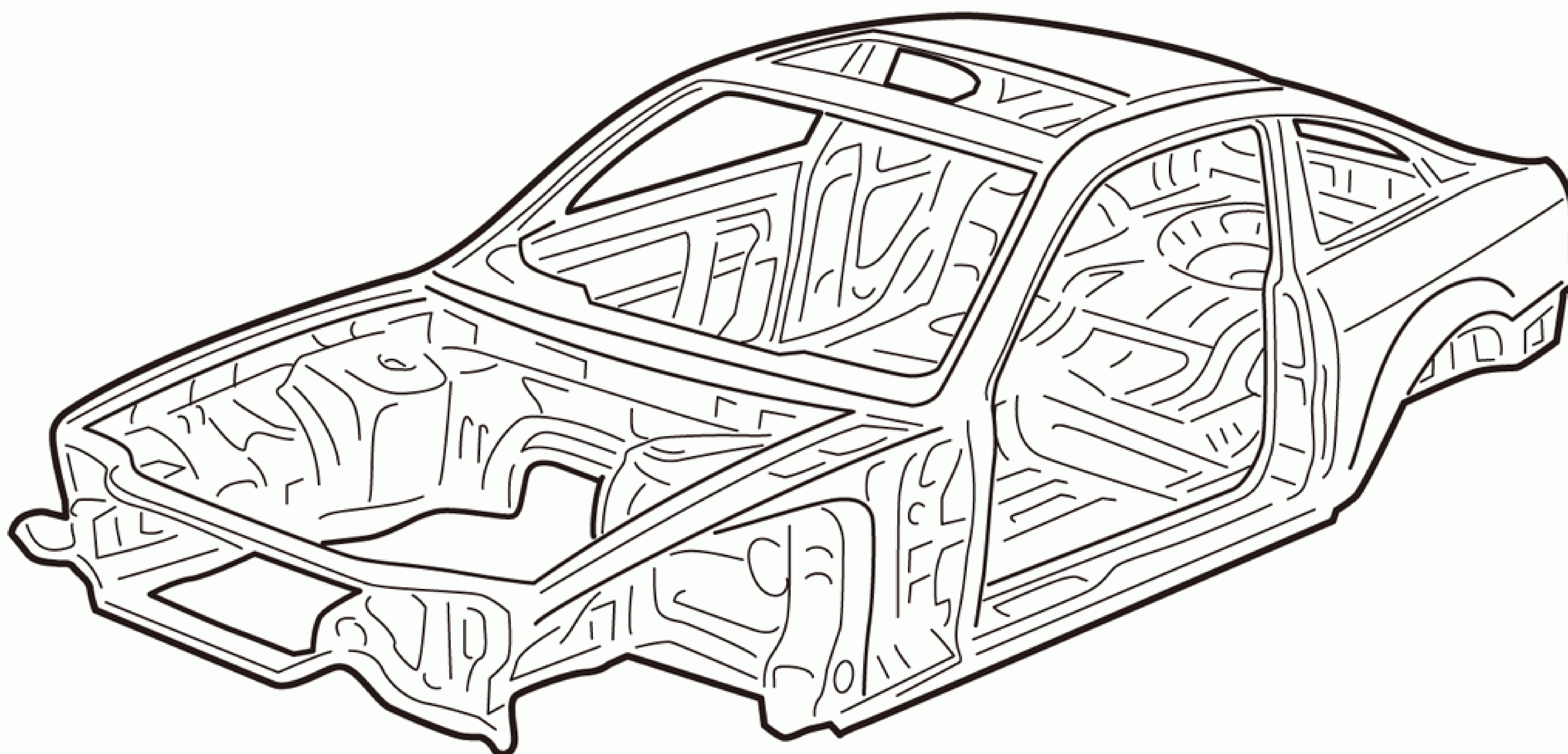
La rigidez tiene una influencia particularmente fuerte en el rendimiento. Por ejemplo, cuando la carga aumenta o cambia al conducir en una carretera llena de baches o al doblar, una carrocería rígida no se doblará ni cambiará de forma como resultado de esto.

Aun si la forma de la carrocería cambia, esta debería volver inmediatamente a su forma original para que la suspensión pueda funcionar normalmente y los neumáticos puedan continuar aferrándose a la carretera. Cuanto más rígida es la carrocería de un auto, más fácil es transmitir la potencia a la superficie de la carretera, más predecible será el comportamiento del auto y más fácil será conducir el auto. Por el contrario, si la carrocería se deforma fácilmente, será más difícil transmitir la potencia a la superficie de la carretera y la maniobrabilidad se verá enormemente afectada.

Las fuerzas que actúan en la carrocería de un auto no son constantes. Son aquellas que tienen un efecto lento y gradual, y aquellas que tienen un impacto repentino y violento. A menudo, en el material publicitario se describe a los autos como dotados de buena rigidez durante las curvas o cuando se encuentran bajo torsión, pero esto significa únicamente que estas fuerzas se aplican lentamente. Una carrocería verdaderamente rígida debería poder sostener el impacto repentino de cualquiera de las fuerzas que pueden actuar sobre ella.

La fuerza se puede pensar como la dureza de un auto. Si un auto con baja fuerza recibe un impacto, sufrirá un daño mayor. Sin embargo, no es suficiente simplemente minimizar el daño: un auto con alta resistencia se debe fabricar de modo que el golpe de un impacto no se transfiera a los pasajeros.

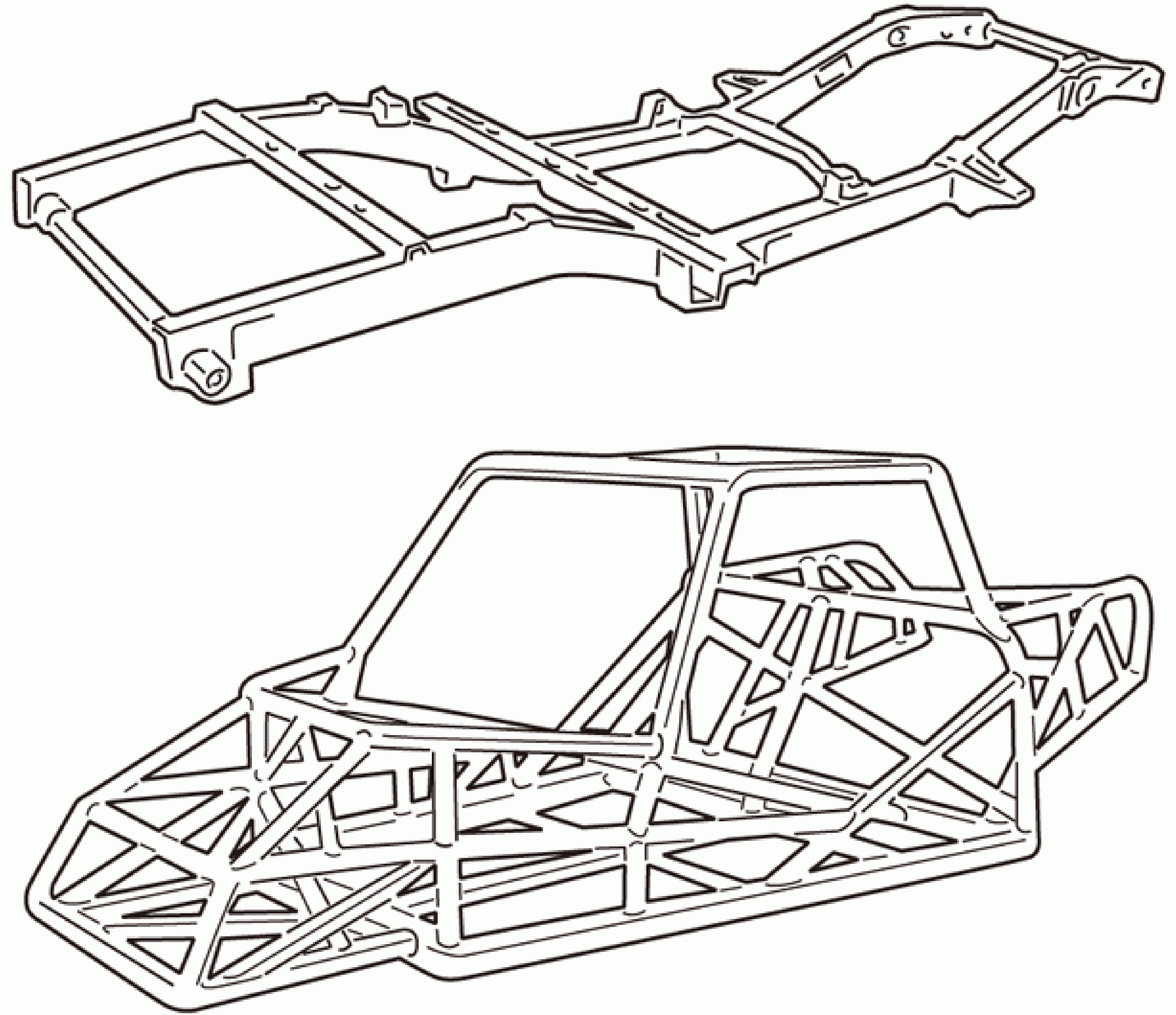
Idealmente, la carrocería de un auto debería tener un buen balance de alta rigidez y fuerza. La manera más sencilla de aumentar estas dos cualidades es mediante el refuerzo, pero luego un aumento de peso se vuelve inevitable. Esta es la razón principal por la que los autos convertibles sin techo tienen un peso final mayor que el de los autos no descapotables, ya que sus pisos están forzados.



# Fuerza y rigidez

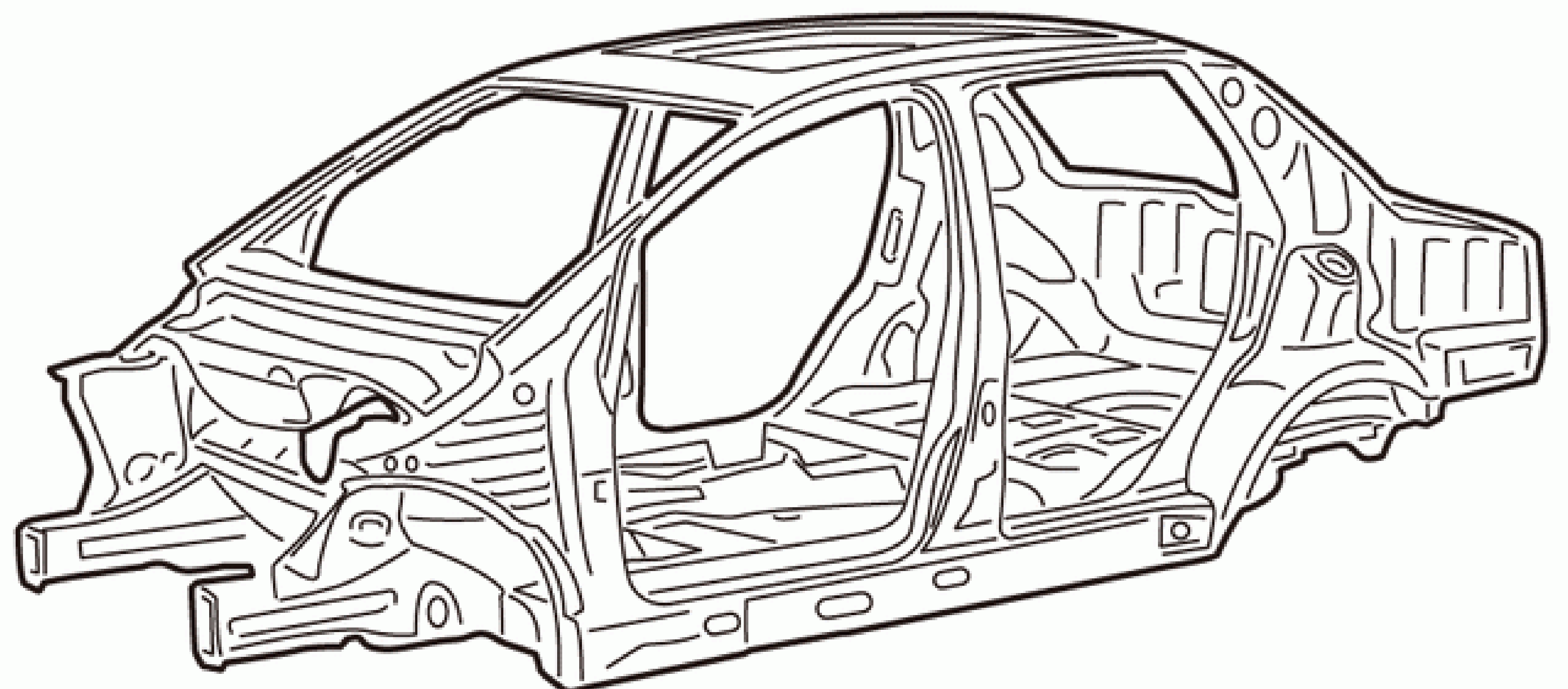
## Carrocería sobre el bastidor

En tipos de bastidor o carrocería sobre el bastidor, el motor, la transmisión, la suspensión y otros componentes se fijan a un bastidor antes de que se instale una carrocería fabricada por separado. Existen varios diseños de bastidores, entre los que se incluyen: de escalera, troncal, de perímetro y plataforma, pero los bastidores de escalera son los más económicos y los más fáciles de reforzar; por lo tanto, son los más comunes, particularmente en vehículos todoterreno. Otro tipo de diseño de carrocería sobre el bastidor se crea soldando muchos tubos pequeños entre sí para crear un bastidor en el que se puedan sujetar los paneles. Esto se conoce como bastidor de tubos múltiples y no se puede desarmar una vez que está construido. Sin embargo, es más fácil adquirir una alta rigidez y una carrocería liviana con este tipo de bastidor, y la modificación y las reparaciones son muy sencillas, de modo que este tipo de construcción es adoptada a menudo para autos de carrera o autos deportivos de bajo volumen de producción.



## Carrocería monocasco

Este es el tipo de carrocería más común en vehículos modernos, en el que se combinan el chasis y la carrocería. La fuerza de la carrocería se crea a través de una combinación de piezas, como los paneles de componentes de carrocería, y es liviana y rígida. Además, tiene la ventaja de que la altura del piso se puede bajar, y es excelente para absorber la energía en un impacto. El hecho de que el motor y la suspensión se instalen directamente en la carrocería inicialmente trajo problemas con la calidad de conducción y el ruido, pero los avances en la suspensión y en la tecnología de montaje de los motores hicieron que estos problemas fueran cosa del pasado.



# Intercambiadores de calor que reducen la velocidad

**Los frenos de un auto convierten la energía de impulsión en energía calórica para reducir la velocidad. No solo deben tener fuerza de frenado, sino que también deben tener la capacidad de disipar el calor de manera efectiva.**

## Fabricación y principios

Los frenos de un auto convierten la energía cinética en energía calórica para lograr la desaceleración. Los frenos también son responsables de asegurar que un auto no se mueva cuando está estacionado.

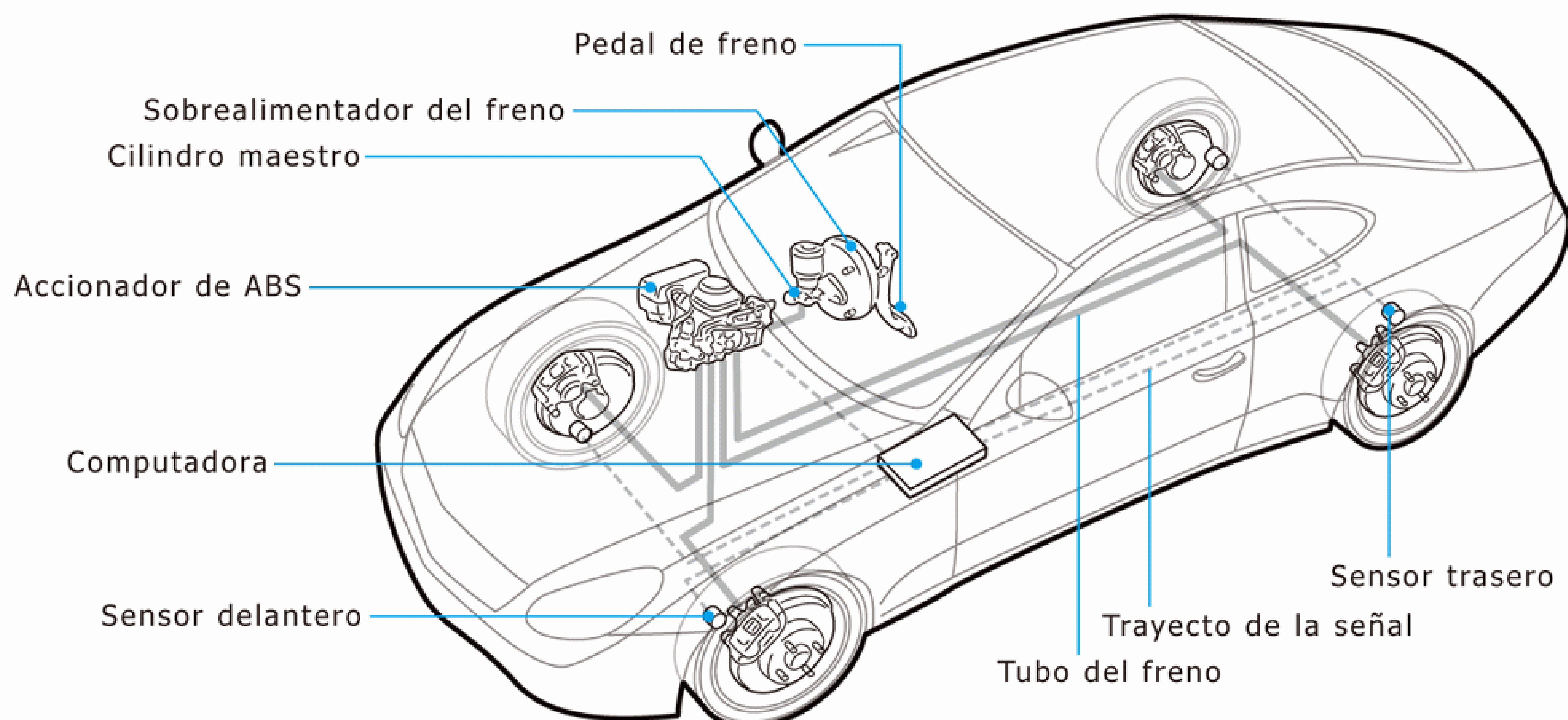
Los componentes básicos de un sistema de frenos incluyen un dispositivo de control, que detecta la acción del piloto, un sistema hidráulico que transmite la operación de control, y el dispositivo de frenos. Recientemente, este proceso ha sido mejorado con la implementación de mecanismos de control que multiplican la acción de los pilotos para aumentar la potencia de frenado y sistemas de ABS que evitan que las ruedas se bloqueen.

El pedal de freno y los frenos están conectados a través de una línea hidráulica. Debido a que el principio de Pascal se aplica a una línea hidráulica, el pedal del freno está conectado a un cilindro grande. La presión que se acumula en este cilindro se eleva y se envía a la pastilla o las zapatas de freno. Las pastillas y las zapatas se fabrican con materiales de alta fricción y, al presionarlas contra el disco o tambor de freno, la energía cinética se convierte en energía térmica, lo que reduce la velocidad del auto.

El líquido que se usa en la línea hidráulica no es aceite, sino un líquido especial para frenos. Los líquidos de frenos no deben entrar en ebullición cuando se exponen al calor de los frenos y existen varios tipos de líquidos de frenos con varias temperaturas de ebullición disponibles.

A medida que la conducción en autopistas se hizo común, los frenos delanteros de la mayoría de los autos de calle se cambiaron de frenos de tambor a frenos de disco. En un sistema de discos, la fuerza de frenado es aplicada a ambos lados del disco por las pastillas, respaldadas por el calibre.

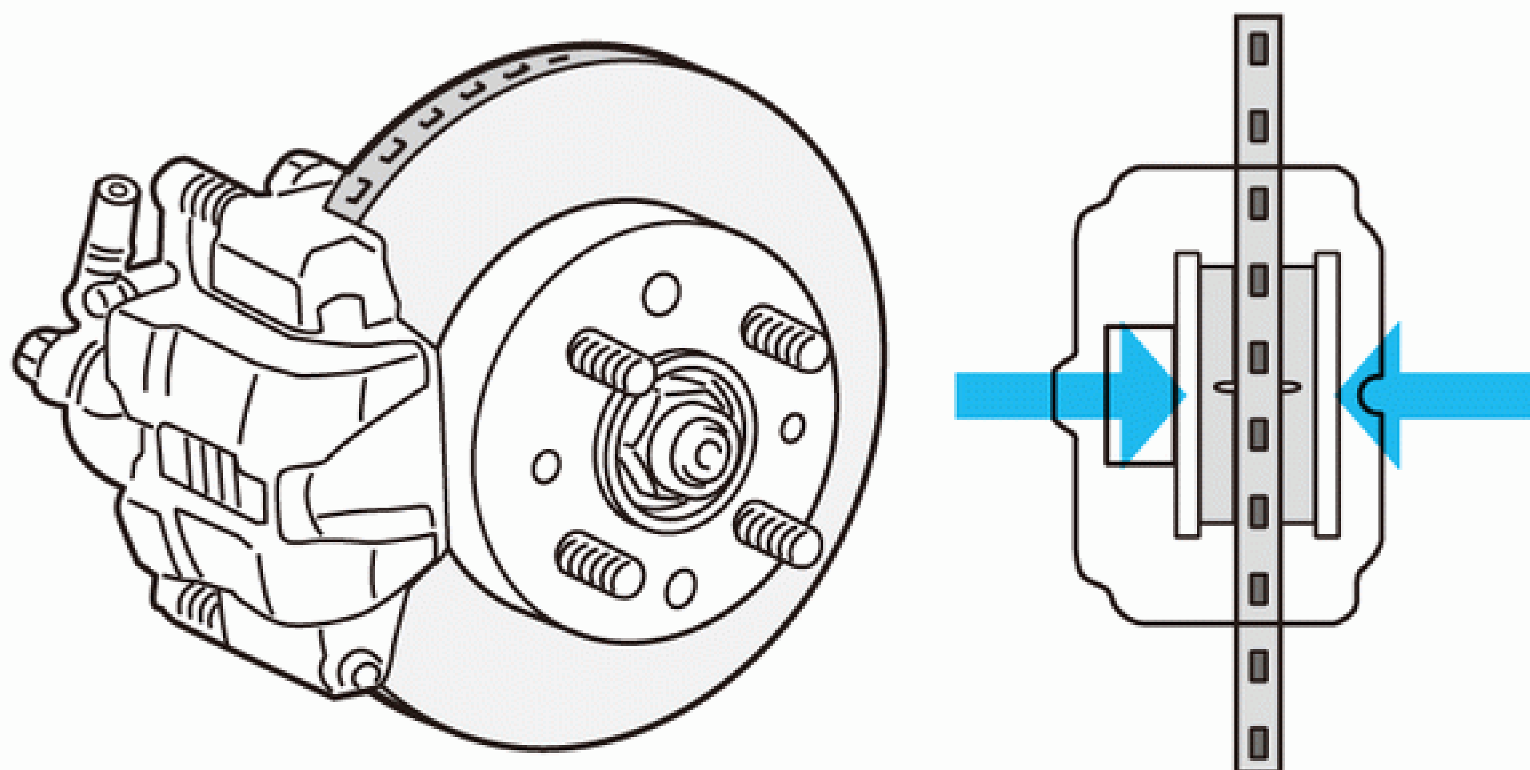
Los frenos de disco han avanzado junto con las demás tecnologías automotrices, y se han desarrollado frenos ventilados con propiedades de enfriamiento mejoradas. La tecnología de los calibres también se ha mejorado y los calibres flotantes tradicionales fueron reemplazados por grandes calibres de pistones opuestos de alto rendimiento.



# ¿Qué hace que un auto se detenga?

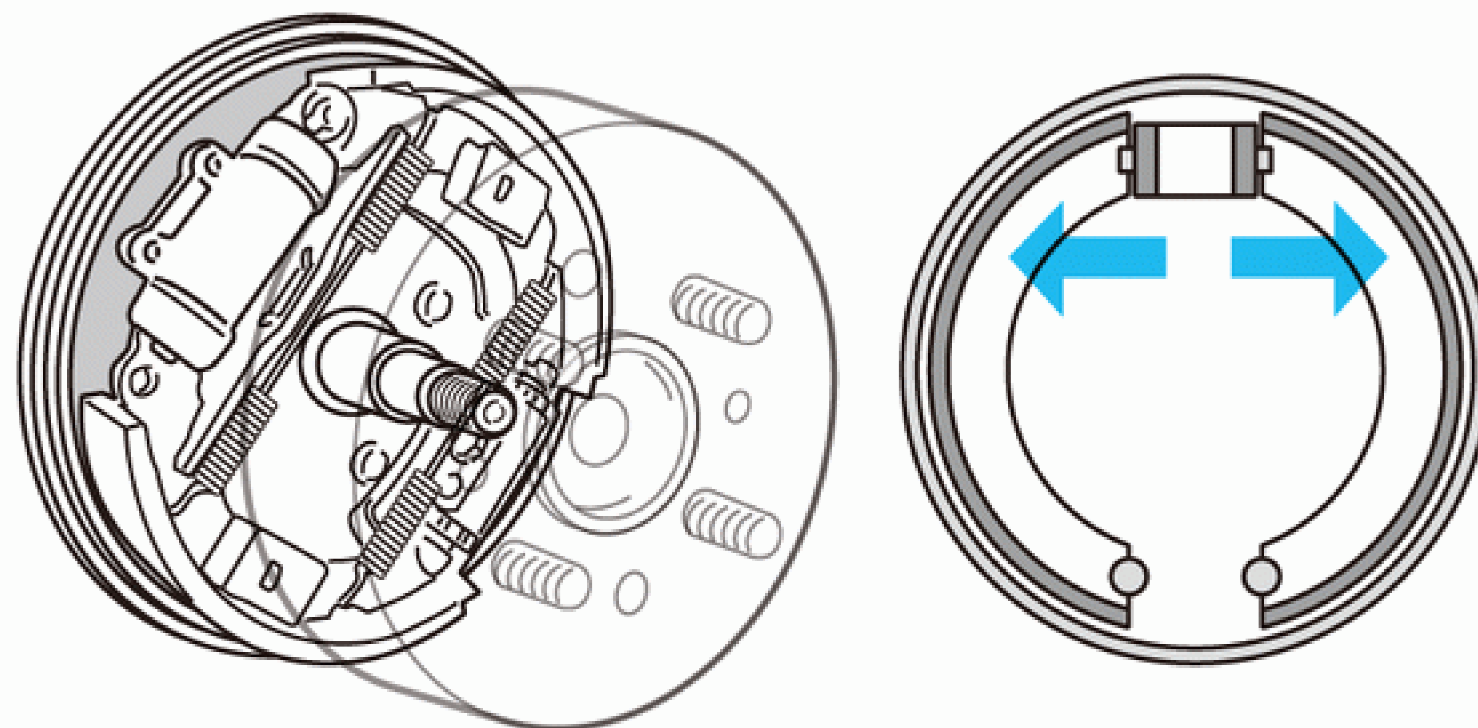
## Frenos de disco

Se aplica fricción a ambos lados de un disco metálico que gira con las ruedas. Su principal ventaja es que debido a que la mayoría de los componentes, incluido el disco mismo, están expuestos a los elementos, la ventilación y la dispersión del calor son excelentes, lo que los hace menos propensos al recalentamiento. Otro beneficio de los discos de freno es que, si se humedecen, el agua se dispersará naturalmente a medida que gire la rueda y no habrá una pérdida de fricción considerable. Es más sencillo realizar un control sensible de los frenos a través del pedal del freno con frenos de disco, pero los frenos no multiplican su propia potencia de frenado como en un freno de tambor y la capacidad de adherencia cuando el auto está estacionado es menor que en el caso de un freno de tambor.



## Frenos de tambor

El frenado se realiza mediante la presión de las pastillas de freno contra el interior de un tambor cilíndrico que gira con las ruedas. La dispersión de calor es insuficiente y el recalentamiento se produce más fácilmente que con los discos de freno. Además, si entra agua al tambor, lleva tiempo recuperar la fricción. Sin embargo, durante el frenado, la rotación del tambor automáticamente arrastra las pastillas contra la superficie de fricción y hace que las pastillas se agarren más y produzcan una fuerza de frenado adicional. En los autos de pasajeros, es normal que se instalen frenos de tambor en las ruedas traseras, que tienen una carga de frenado menor. En vehículos de mayor tamaño, a menudo se instalan frenos de tambor dentro de los frenos de disco de las ruedas traseras para que actúen como freno de estacionamiento.



### Problemas de frenado causados por calor excesivo

## Pérdida de efectividad

La pérdida de efectividad es una reducción de la fuerza de frenado causada por el uso excesivo de los frenos. Las pastillas o el revestimiento se sobrecalientan y liberan gas, que actúa como una especie de lubricante y reduce la fricción.

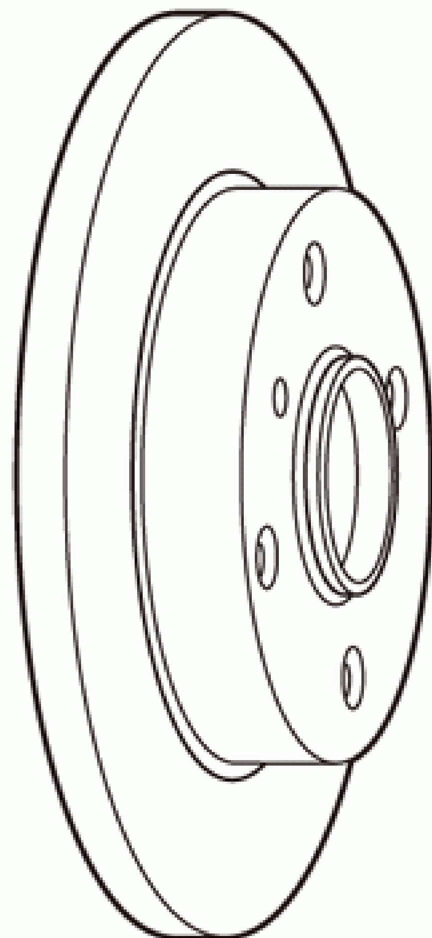
## Bloqueo por vapor

Esta es una condición que se produce cuando el líquido de frenos absorbe el calor de las pastillas o del revestimiento que se recalientan y entra en ebullición, lo que crea burbujas de aire en la línea de freno. Cuando se presiona el pedal del freno, la presión no pasa de manera efectiva a través del líquido y, en el peor escenario, los frenos fallarán por completo.

# Tipos de discos de freno

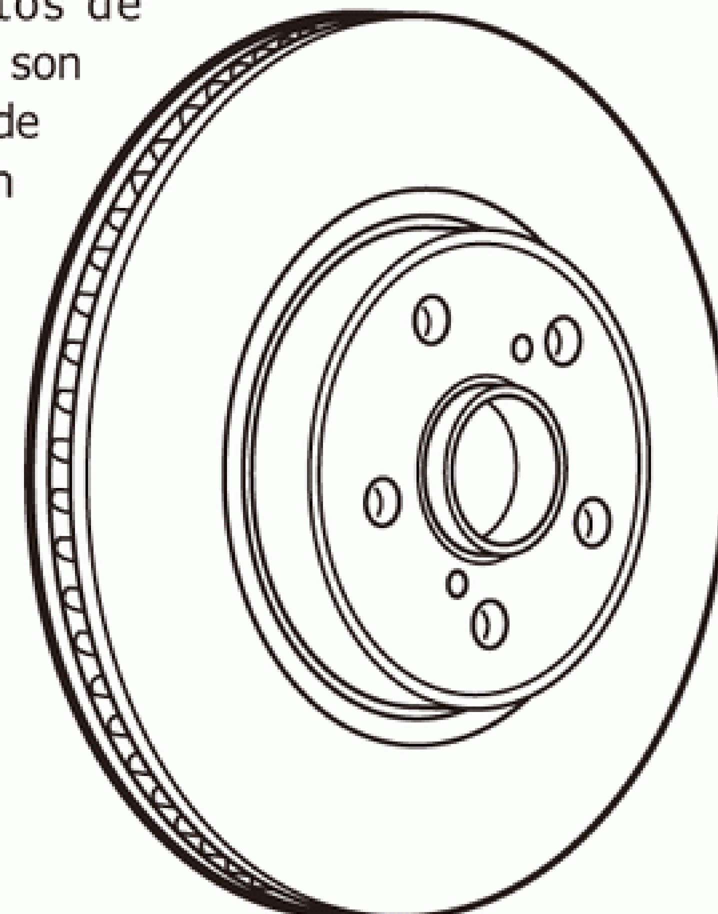
## Discos sólidos

La dispersión del calor es inferior a la de los discos ventilados, pero los bajos costos de fabricación significan que se usan discos sólidos en los frenos delanteros de los autos livianos y también en los frenos traseros de los vehículos con tracción en las cuatro ruedas, en los que las cargas de freno son relativamente pequeñas. Todos los discos, incluidos los discos ventilados, deben tener resistencia a la fricción y una buena dispersión del calor; es por esto que la mayoría de los discos están hechos con hierro fundido.



## Discos ventilados

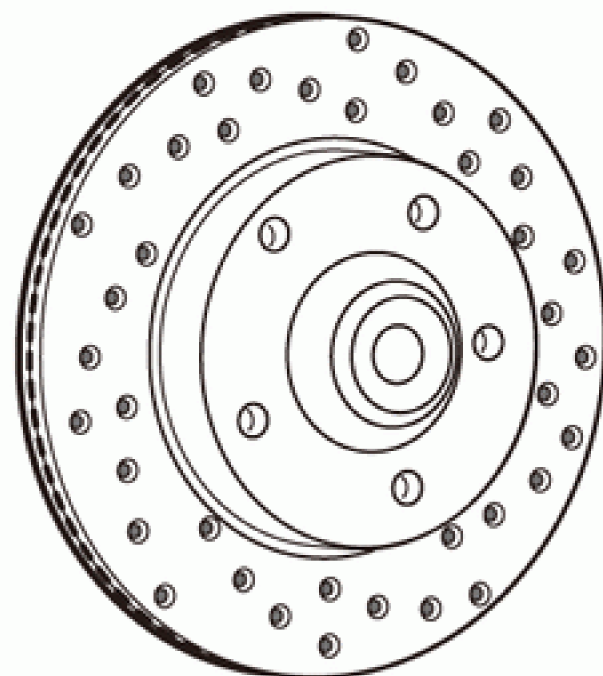
Dos discos pegados entre sí que tienen orificios entre ellos para proporcionar ventilación. Estos frenos fueron desarrollados inicialmente para los autos de carrera, pero ahora también son muy comunes en los autos de pasajeros. En comparación con los discos sólidos, la temperatura de superficie se reduce alrededor de un 30 %, lo que aumenta la resistencia a la pérdida de efectividad y alarga la vida útil de las pastillas de freno. La desventaja es que su doble espesor los hace un poco más pesados.



### Tipos de discos de ventilación avanzada

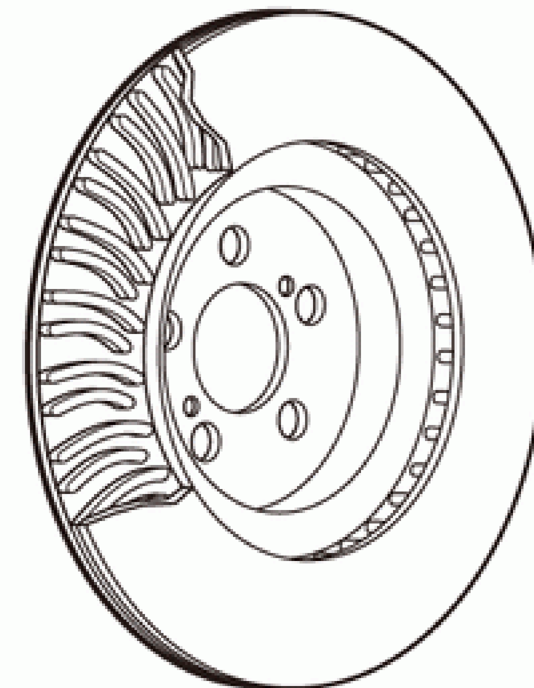
## Discos con agujeros cruzados

Son similares a los discos ventilados, pero tienen agujeros adicionales en la superficie para aumentar la dispersión del calor y el enfriamiento. Con frecuencia, se utilizan en autos de carreras y en autos deportivos de alto rendimiento. Los orificios también resultan efectivos para eliminar el polvo que se produce durante el frenado. Otro tipo de disco denominado "disco ranurado" tiene canales maquinados en su superficie para lograr el mismo efecto.

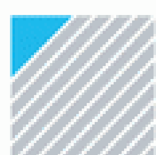


## Discos de aletas en espiral

Dos discos dispuestos como capas, con aletas disipadoras de calor dispuestas en forma de espiral entre estos. Estos frenos fueron desarrollados inicialmente para los autos de carrera, pero ahora también son muy comunes en los autos de pasajeros. Como resultado, el calor se dispersa de modo extremadamente eficiente cuando giran las ruedas. Estos discos se usan en los autos deportivos de alto rendimiento y en los sedanes más pesados y de mayor potencia.



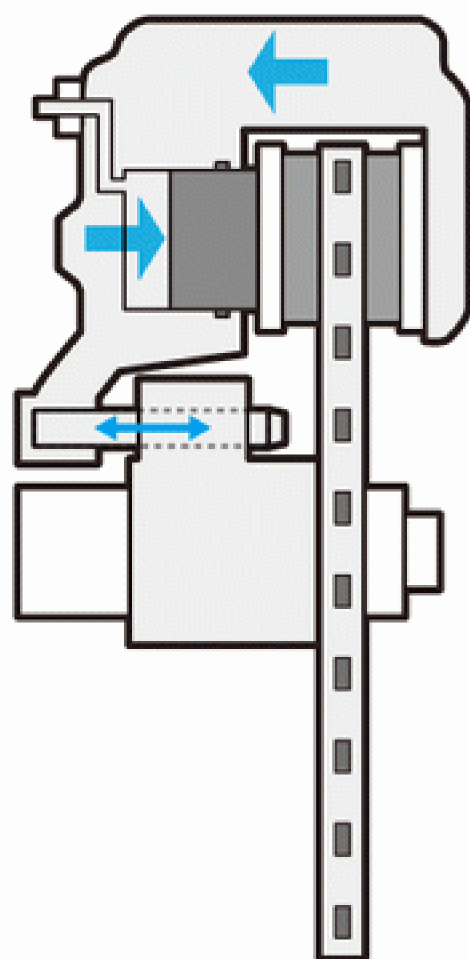
# Discos y Calibrador



# Tipos de calibre

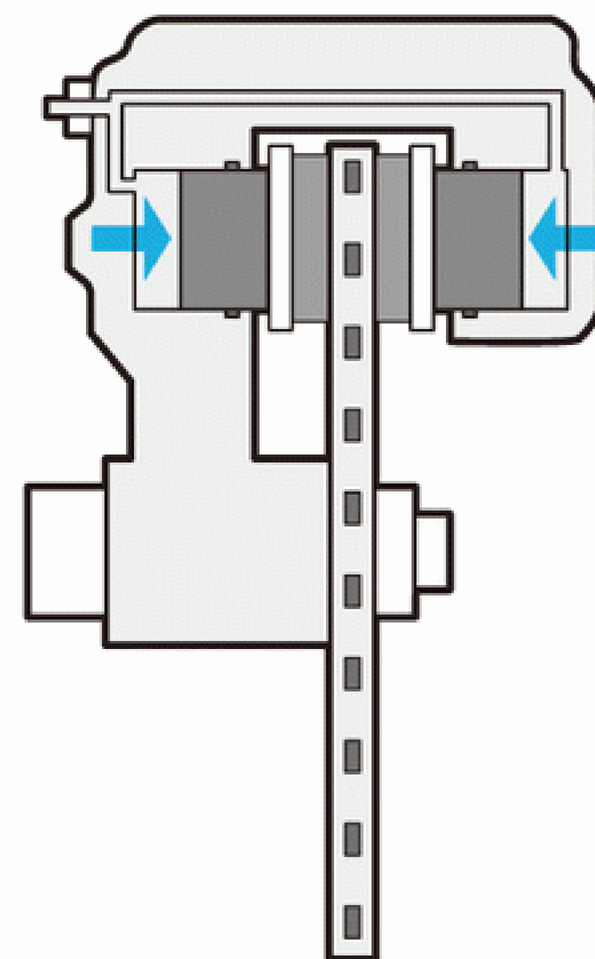
## Flotante

Un calibre flotante tiene un pistón montado en un lado que empuja la pastilla de freno contra el disco cuando se presiona el pedal del freno. La fuerza opuesta presiona la pastilla de freno del otro lado contra el otro lado del disco. El contacto de las pastillas con el disco se ajusta de manera constante y no hay retardo entre las acciones de las dos pastillas, lo que garantiza una sensación de frenado idéntica en cada ocasión. El calibre en sí es pequeño y liviano, pero puede proporcionar cierta potencia de frenado, aun si el disco se deforma con el calor extremo. A pesar de que comienzan a perder eficacia en situaciones de competición sostenida, no presentan ningún tipo de problemas durante la conducción regular.



## Pistón delante y detrás

Esta es una configuración en la que se disponen pistones de frenos en ambos lados del disco para apretar las pastillas de frenos contra el disco desde ambos lados. Debido a que esta configuración hace que los calibres sean más grandes y pesados, la única opción es fabricar el cuerpo de los calibres con aluminio para reducir el peso, lo que a su vez hace que mantener la rigidez adecuada para el calibre sea difícil, a menos que el diseño sea apropiado. Es muy efectivo cuando se corre en un circuito pero, para utilizar todo su potencial, los discos de freno también deben ser discos de montaje flotante. Los discos de freno normales se pueden deformar por el calor y quedar en un ángulo que impide que las pastillas de freno entren en contacto de manera apropiada con la superficie del disco. Al volverse más populares los frenos de tamaños mayores, los frenos con varios pistones con calibres de 4 y 6 pistones y pastillas de mayor superficie también se han aplicado en autos comerciales. Un calibre de pistón opuesto visiblemente más grande que asoma detrás de las llantas de aleación de un auto es un fuerte indicio de su alto rendimiento.





SUSPENSIÓN



# Amortiguadores para controlar el movimiento de la carrocería

**La compresión y la extensión pueden parecer procesos simples, pero sin un sistema de suspensión apropiado, no podrás mantener la trayectoria recta de un auto, con más razón controlarlo.**

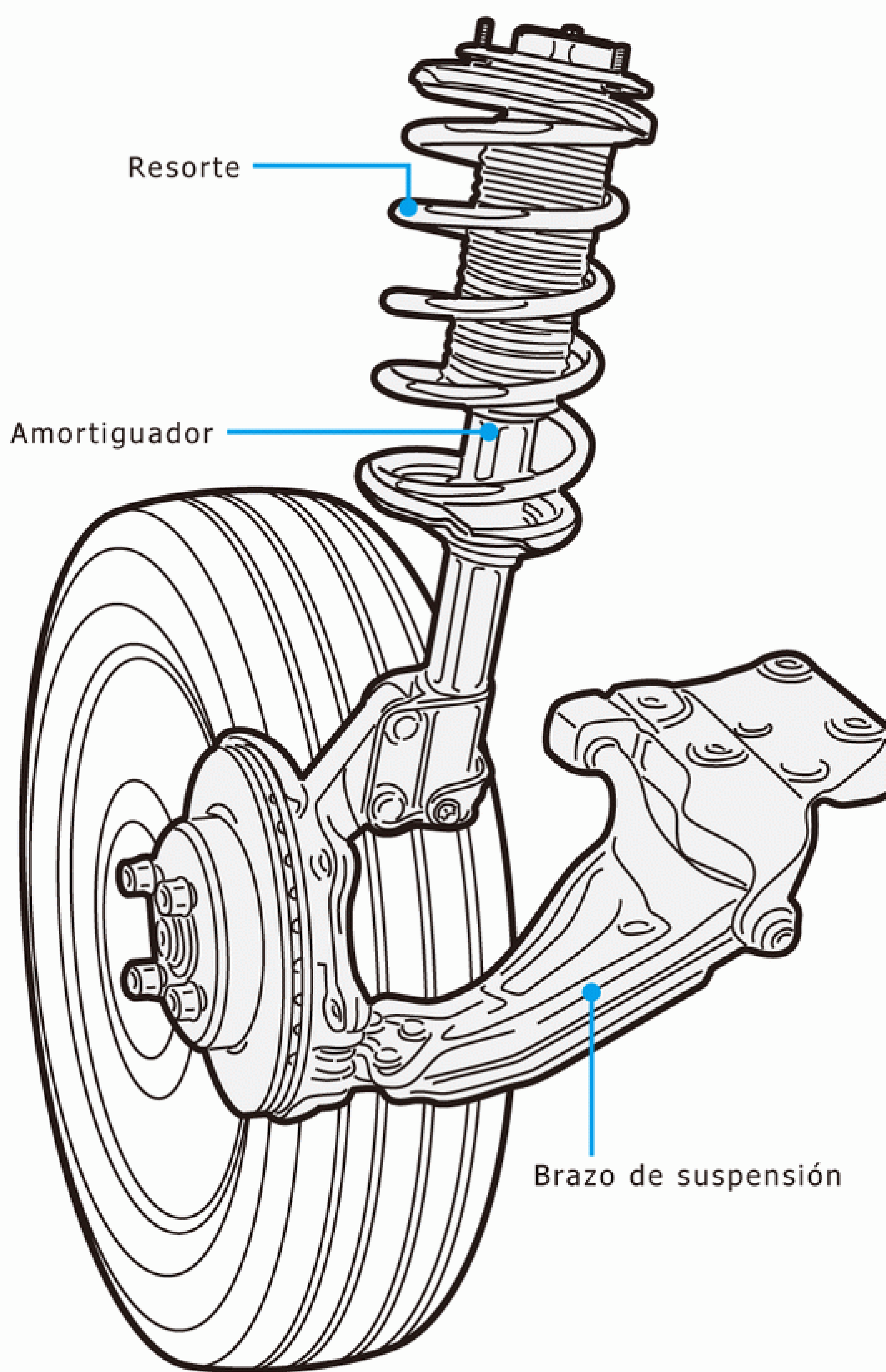
## Fabricación y principios

La suspensión es el mecanismo ubicado entre la carrocería y las ruedas, y sirve para absorber los golpes que reciben las ruedas mientras soportan la carrocería del auto. Además, tiene una influencia importante en el manejo y, como tal, es un mecanismo importante en la construcción de un auto.

Generalmente, se puede categorizar la suspensión en suspensiones "dependientes", en las que el movimiento de una de las ruedas afecta a la rueda del lado opuesto, o "independientes", en las que las ruedas de los lados izquierdo y derecho se mueven de manera independiente sin afectarse mutuamente. Entre las suspensiones dependientes se incluyen las de eje o eje rígido, las de varillaje o las de barra de torsión, y entre las independientes se incluyen las de riostras y las de espoleta doble.

La suspensión misma está compuesta por resortes, amortiguadores y varillajes. Los resortes absorben el golpe de la superficie de la carretera y los amortiguadores suprimen la vibración de los resortes para brindar comodidad y estabilidad durante el manejo. Los varillajes restringen el movimiento de los neumáticos, de modo que los neumáticos mantengan un contacto óptimo con la superficie de la carretera. El sistema de suspensión desempeña el importante papel de presionar los neumáticos contra la superficie de la carretera mediante los resortes y de regular su posicionamiento.

La ilustración muestra una suspensión de tipo de riostras. Después de haber sido utilizado por primera vez en Japón, en el Toyota Corolla, este tipo de suspensión se volvió sumamente común en los autos de fabricación en serie. En una suspensión de tipo de riostras, la cubierta del amortiguador de riostra actúa como (y reemplaza) el brazo superior de una suspensión de espoleta doble. Esto reduce el número de componentes necesarios y brinda más espacio para el motor.

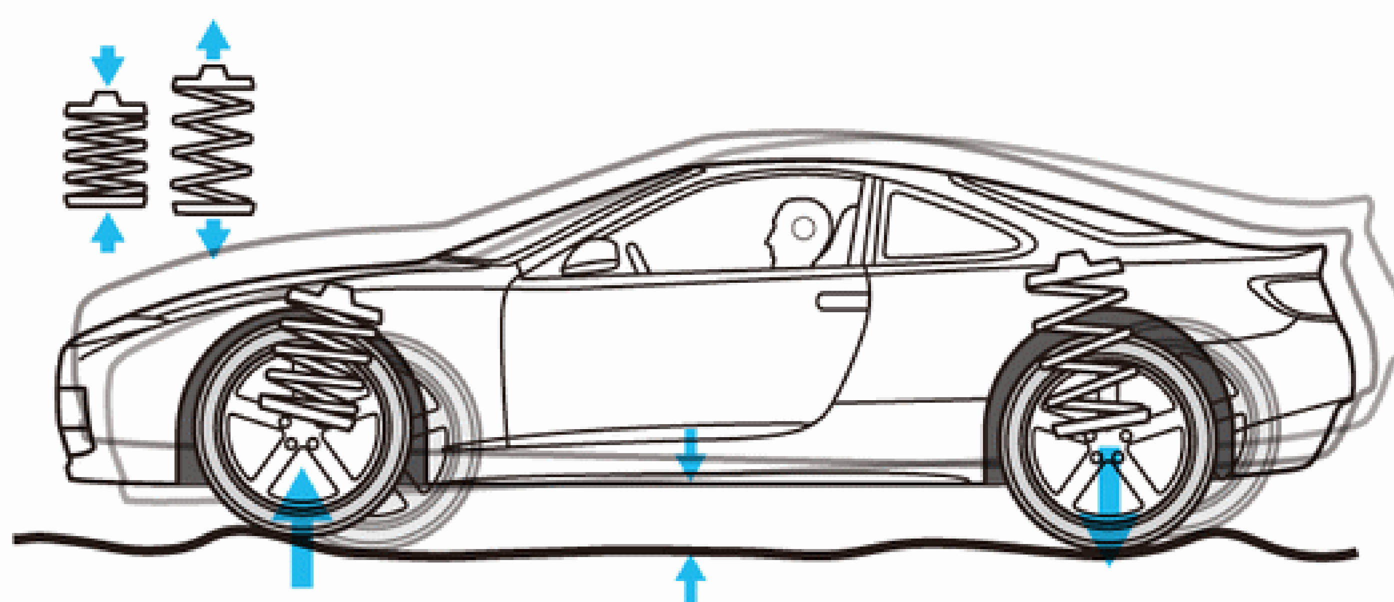



Ejemplo de suspensión de tipo de riostras

# Control total sobre el desplazamiento, el viraje y el frenado

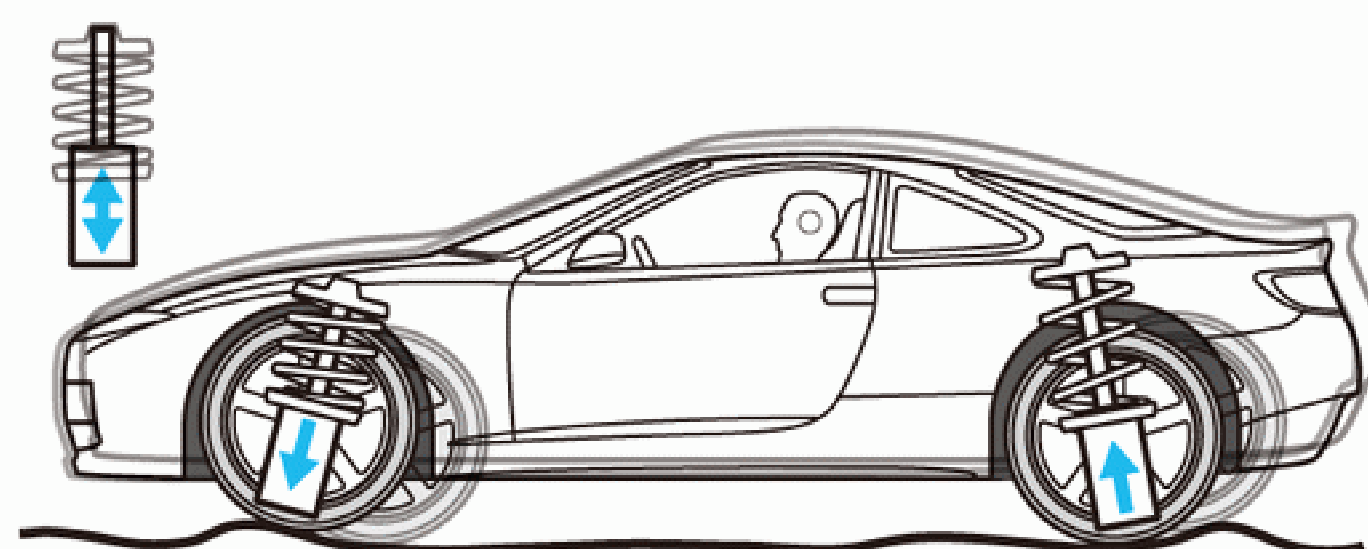
## Resortes

Los resortes absorben los impactos que recibe el auto durante la conducción; además de reducir los golpes, también aseguran que el auto mantenga una altura constante. Aparte de facilitar el control, los resortes también son un factor importante para el manejo y la estabilidad. No es exagerado decir que la configuración de los resortes solamente puede afectar en gran medida el rendimiento de un auto. Los resortes de espiral metálico son los más utilizados, pero algunos autos también tienen una suspensión neumática de aire comprimido.



## Amortiguadores

Un resorte espiralado puede absorber el impacto cuando una carga actúa sobre este, pero una vez que lo hace no puede dejar de rebotar verticalmente. Los amortiguadores se encargan de atenuar su movimiento. El tipo más común de amortiguador usa la resistencia creada por un pistón que se mueve mediante aceite y gas. El movimiento hacia adelante y hacia atrás más lento sirve para absorber el movimiento vertical violento del resorte. Los amortiguadores afectan el control y la estabilidad de la misma manera que los resortes.



## Brazos de suspensión

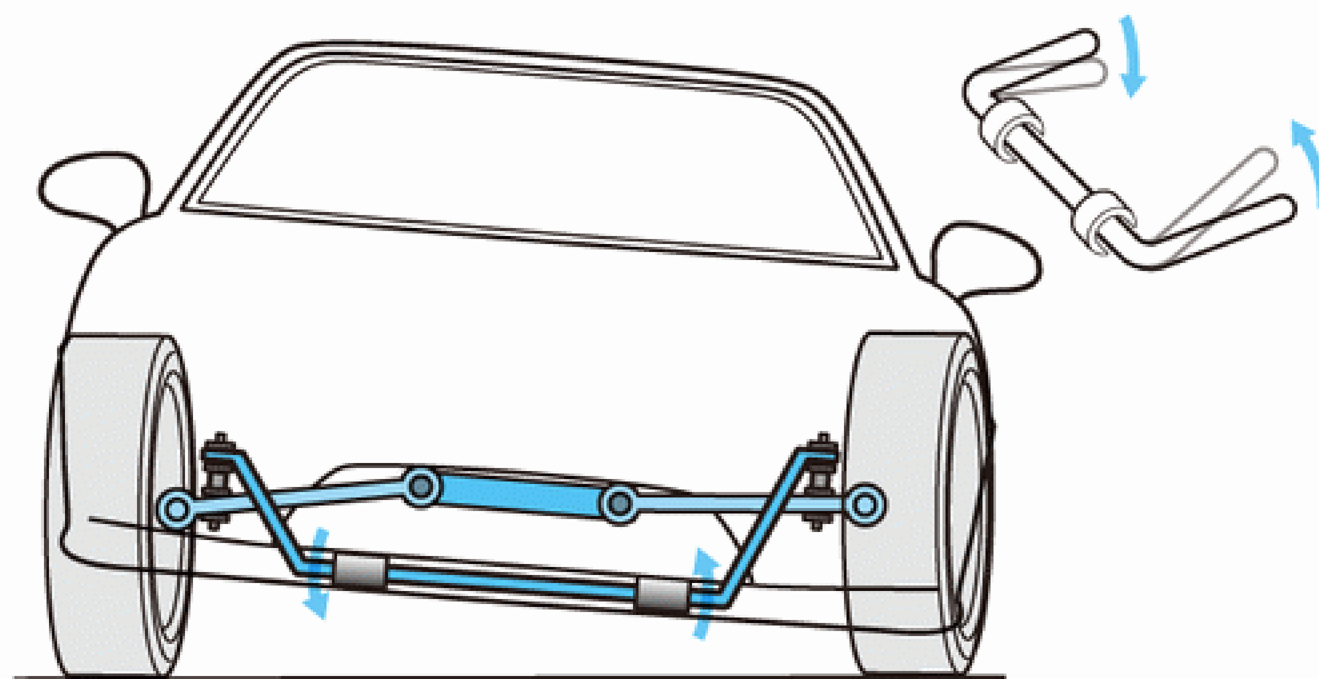
Los brazos de suspensión son las piezas que controlan el movimiento de las ruedas. Están sujetados a la carrocería y al eje mediante bujes. Existen varios tipos, como el brazo A y el brazo I. Generalmente se confeccionan con acero prensado, pero algunos modelos deportivos utilizan componentes de aluminio para reducir el peso. En el caso de los brazos de suspensión que se disponen en conjuntos de dos, como en una suspensión de espoleta doble, el brazo de arriba se llama “brazo superior” y el de abajo “brazo inferior”.

## Bujes de suspensión

Los bujes de la suspensión son materiales que absorben los golpes y se disponen en las juntas de los varillajes y los brazos metálicos de la suspensión o en otras ubicaciones de montaje de la carrocería. Si los bujes son demasiado blandos, se deformarán bajo grandes cargas, como durante las curvas. Esto creará un movimiento no deseado en la suspensión y será perjudicial para el control y la estabilidad del auto. Por esta razón, los bujes de la suspensión se hacen normalmente con material a base de goma con muy buenas características de absorción de golpes. En los autos de competición, a menudo se usan juntas metálicas esféricas denominadas “bolas de apoyo” para que la suspensión se mueva con la mayor precisión posible. Los bujes de suspensión son componentes muy importantes que garantizan el rendimiento adecuado de los resortes y de los amortiguadores.

## Barras estabilizadoras/estabilizadores

Una barra estabilizadora o estabilizador es un dispositivo de estabilización que permite suprimir el balanceo en vehículos que usan la fuerza de torsión de un resorte de barra de torsión. A veces también se conoce como “barra antivuelco”. El estabilizador se conecta a ambos extremos de los brazos de suspensión inferiores y solo reacciona ante los movimientos irregulares en la suspensión izquierda y derecha. Por ejemplo, en las curvas, la parte de la carrocería del auto del lado exterior de la curva se hundirá, mientras que la parte del lado interior se elevará. La barra estabilizadora se accionará para equilibrar este movimiento de modo que el auto no se balancee demasiado, lo que estabilizará su posición. Así, las barras estabilizadoras se pueden usar para configurar un auto a fin de evitar sobreviraje o subviraje.



# Tipos de suspensión

A pesar de que todos los tipos de suspensión desempeñan los mismos papeles básicos de mantener la altura del auto elevado y absorber los golpes y cambios de carga de conducción, cada uno tiene sus características particulares. Las características de la suspensión afectarán aspectos del rendimiento como el viraje, el control del auto (que también afecta la seguridad), e incluso la comodidad de manejo.

Los sistemas de suspensión siempre están mejorando y aparecen nuevos tipos todo el tiempo. Un sistema complicado no necesariamente significa que es un mejor sistema, pero la necesidad de lidiar con los golpes y las ondulaciones instantáneamente y de mantener las ruedas en constante contacto con la superficie de la carretera hizo que se implementaran soluciones cada vez más intrincadas.

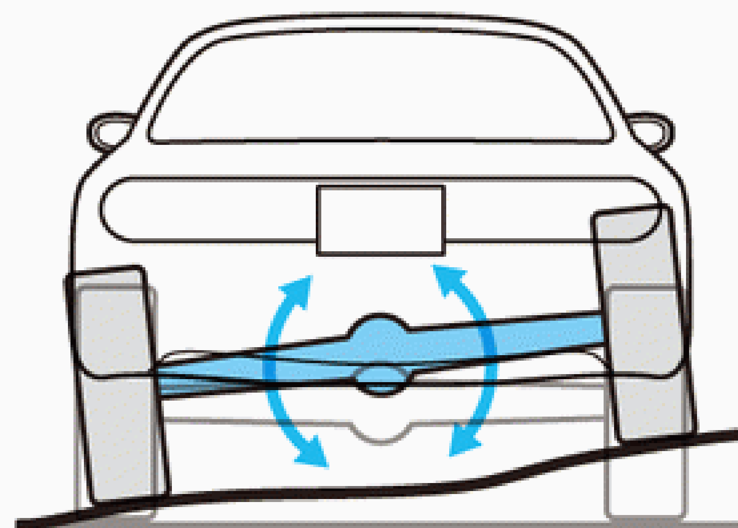


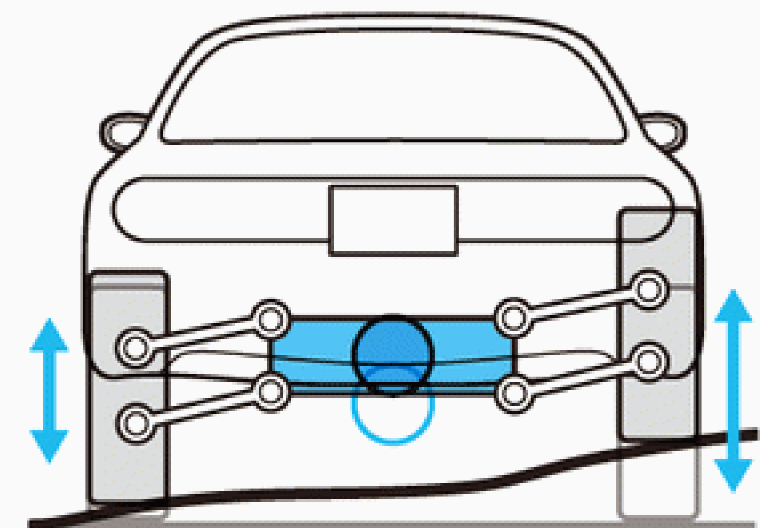

## Eje rígido

En una suspensión de eje rígido, las ruedas izquierda y derecha están conectadas por un solo eje. Como resultado, el movimiento hacia un solo lado también afecta al otro lado y hace que las ruedas pierdan el contacto con la carretera más fácilmente. Las vigas y las carcasas del eje son pesadas, lo que aumenta la masa no suspendida del auto. Sin embargo, al ser resistentes y tener bajos costos de fabricación, las suspensiones de eje rígido a menudo se usan en los autos con tracción trasera accesibles.

## Suspensión independiente

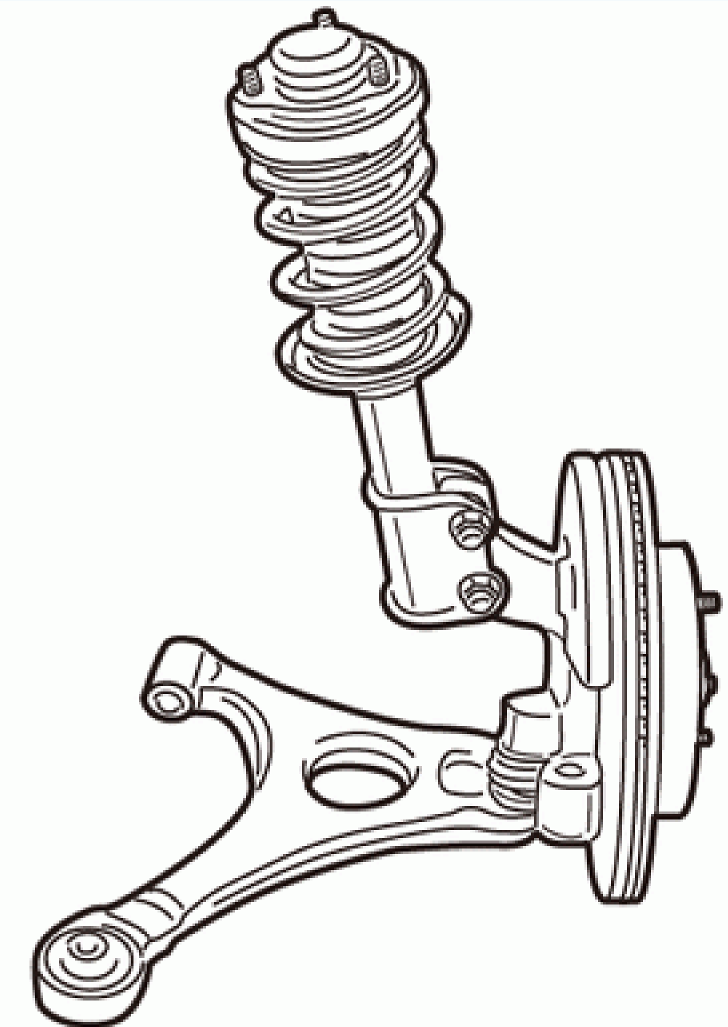
La suspensión independiente permite que las ruedas izquierdas y derechas se muevan hacia arriba y hacia abajo de manera individual, y por eso es excelente para manejar las ondulaciones y los golpes de la carretera. En un auto con tracción trasera, esto también ayuda a transmitir potencia de manera eficiente a las ruedas izquierdas y derechas. El sistema es liviano, estable y ofrece una conducción cómoda.





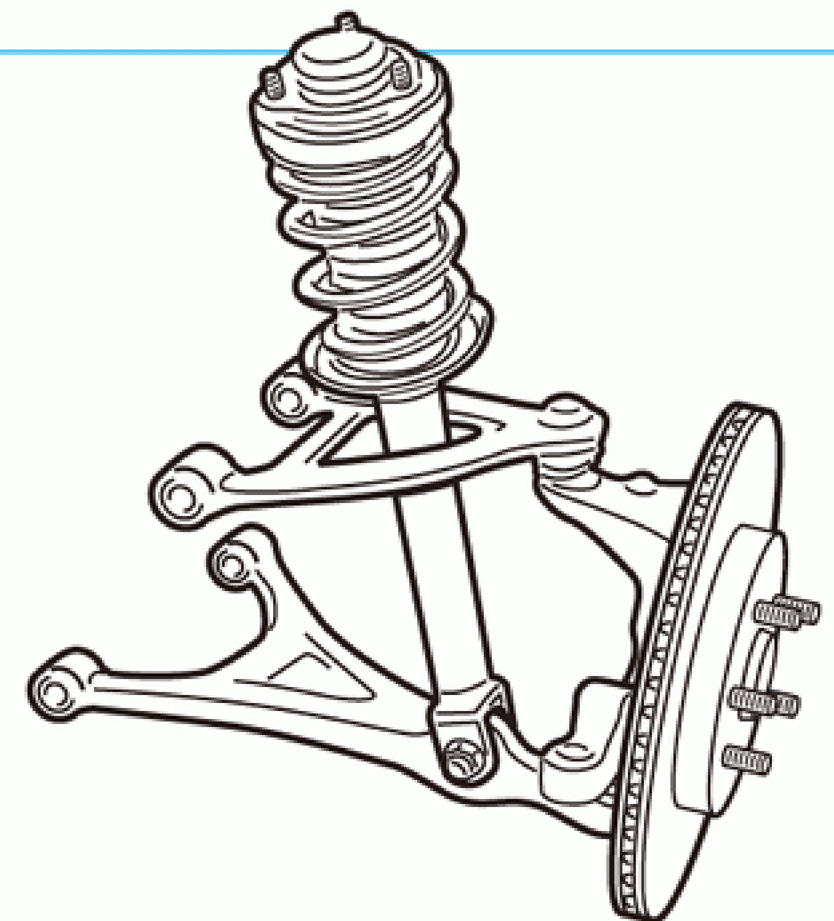
## Suspensión independiente: el sistema elegido para la mayoría de los autos deportivos

### Riostra MacPherson



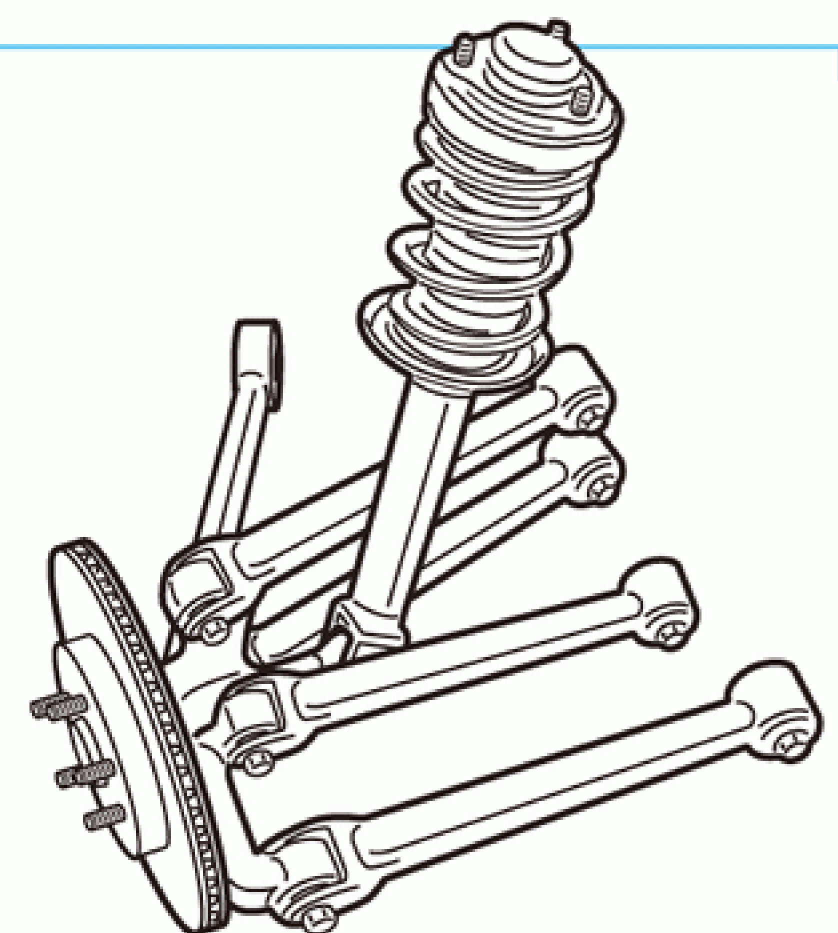
Se trata de un sistema de suspensión simple, que está compuesto por un resorte, un amortiguador y un brazo de control inferior. "Riostra" hace referencia al amortiguador en sí, que también sirve como un soporte en este tipo de suspensión. La parte superior soporta la carrocería a través de una goma de montaje y la parte inferior del amortiguador está sostenida por el brazo inferior. Al tener menos partes, es un sistema liviano y, además, tiene una buena carrera de amortiguador; esto quiere decir que la vibración puede ser absorbida en una amplia gama. El sistema fue diseñado por Earle S. MacPherson y de él tomó su nombre.

### Espoleta doble



Un diseño que brinda soporte a las ruedas con un brazo superior y otro inferior que están unidos entre sí. A menudo, los brazos están dispuestos en forma de V y se parecen a la espoleta de un ave. Según la forma de los brazos y la disposición del auto, el sistema puede controlar de manera relativamente sencilla los cambios en la alineación y la posición del auto durante la aceleración. Además, es muy rígido, y esto lo convierte en una elección popular para los autos deportivos que priorizan el control y la estabilidad. Sin embargo, tiene una construcción complicada, que usa muchas piezas y ocupa mucho espacio.

### Varillaje múltiple



Esta es una forma avanzada del sistema de espoleta doble y usa entre tres y cinco brazos para mantener la posición del eje. Los brazos están separados, lo que proporciona mucha libertad en lo que respecta al posicionamiento. Esto, a su vez, permite que pueda configurarse de manera muy específica. El número incrementado de brazos le permite manejar el movimiento en muchas direcciones y mantiene las ruedas en contacto cercano con la superficie del camino en todo momento. A menudo, este tipo de suspensión se usa en la suspensión trasera de autos FF de alto rendimiento para mantener la estabilidad a altas velocidades y en autos con tracción trasera de alto rendimiento para mantener la tracción.

# Características de los diferentes tipos de suspensión




## Alineación de las ruedas

Observa un mueble que tenga ruedas. Si miras directamente desde arriba, notarás que el eje de la rueda se encuentra a un ángulo leve respecto del eje que lo conecta con el mueble. Esta leve desalineación es lo que hace que la rueda se mueva en línea recta cuando se empuja, en lugar de tambalear.

Ahora, imagina que tomas el neumático de un auto y lo haces rodar por el suelo. Si paras el neumático derecho y lo haces rodar se moverá en línea recta, pero si lo inclinas, aunque sea levemente, tomará esa misma dirección al rodar.

A partir de esto, podemos ver que cuando se instalan ruedas en un auto, si se colocan en el ángulo correcto se podrán mover de un modo adecuado para las condiciones de funcionamiento del auto. Este es el aspecto fundamental de la alineación de las ruedas (o geometría de la suspensión).

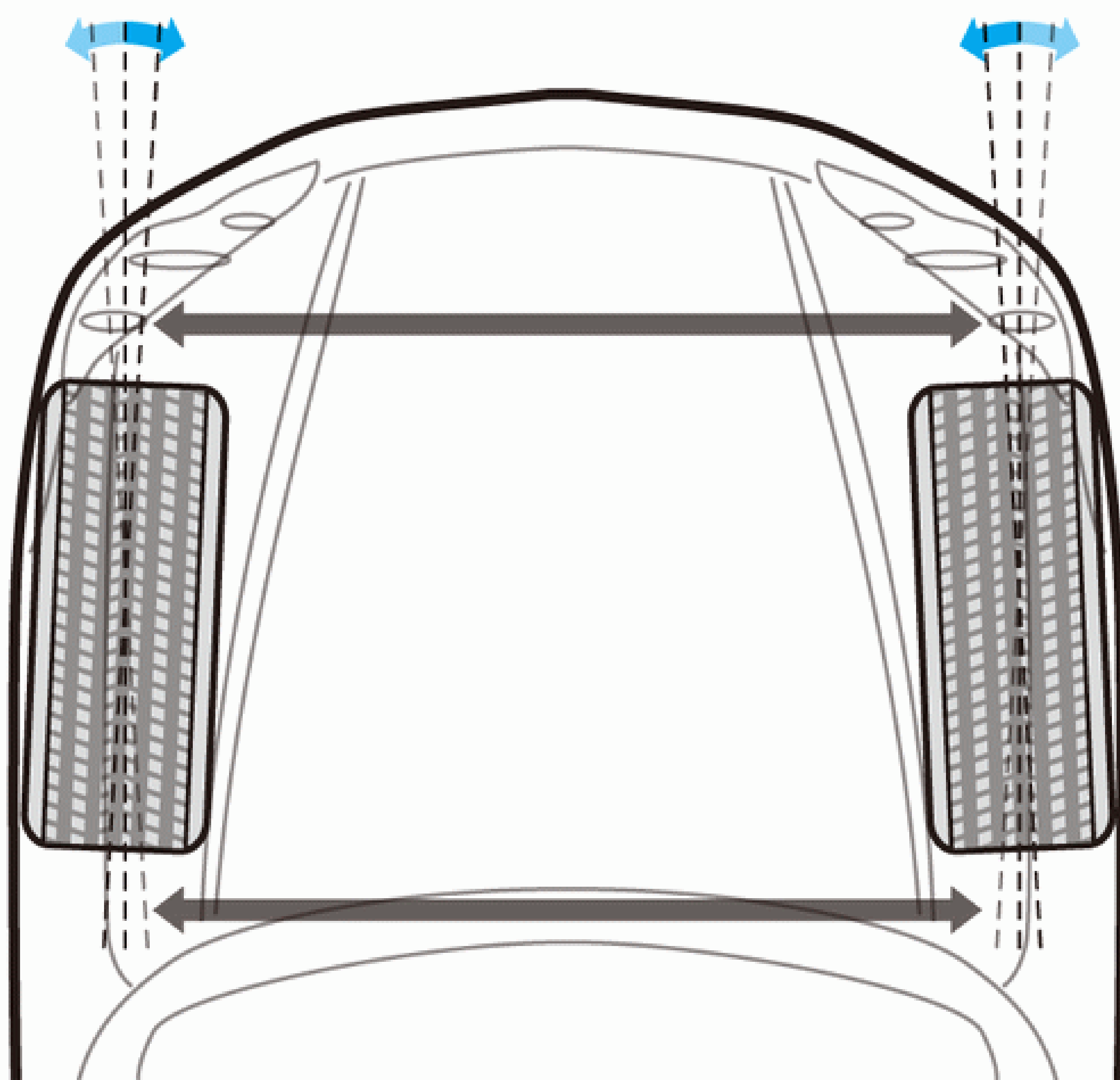
La conducción, el giro y la detención están basados en el hecho de que las ruedas están correctamente alineadas. Este "posicionamiento" de las ruedas puede maximizar el rendimiento de los neumáticos y determinar las características de un auto.

La página de enfrente ilustra los cuatro ángulos básicos de la alineación de las ruedas: el ángulo de convergencia es el ángulo que forman las ruedas cuando se miran desde arriba, el de avance de la suspensión es el que forman cuando se miran desde un costado, el de peralte es el que forman cuando se miran desde la parte delantera, y el de pivote es el ángulo de la suspensión respecto de las ruedas cuando se miran desde la parte delantera. Estos ajustes se regulan en incrementos tan pequeños como 0,1°/0,1 mm, de modo que el margen de error es muy pequeño. Si se comete un error, el auto puede desviarse de la línea recta o la conducción puede verse afectada negativamente. Será conveniente que recuerdes los diferentes efectos que estos ajustes pueden tener.

# El ángulo de la rueda afecta el contacto con la carretera y el manejo.

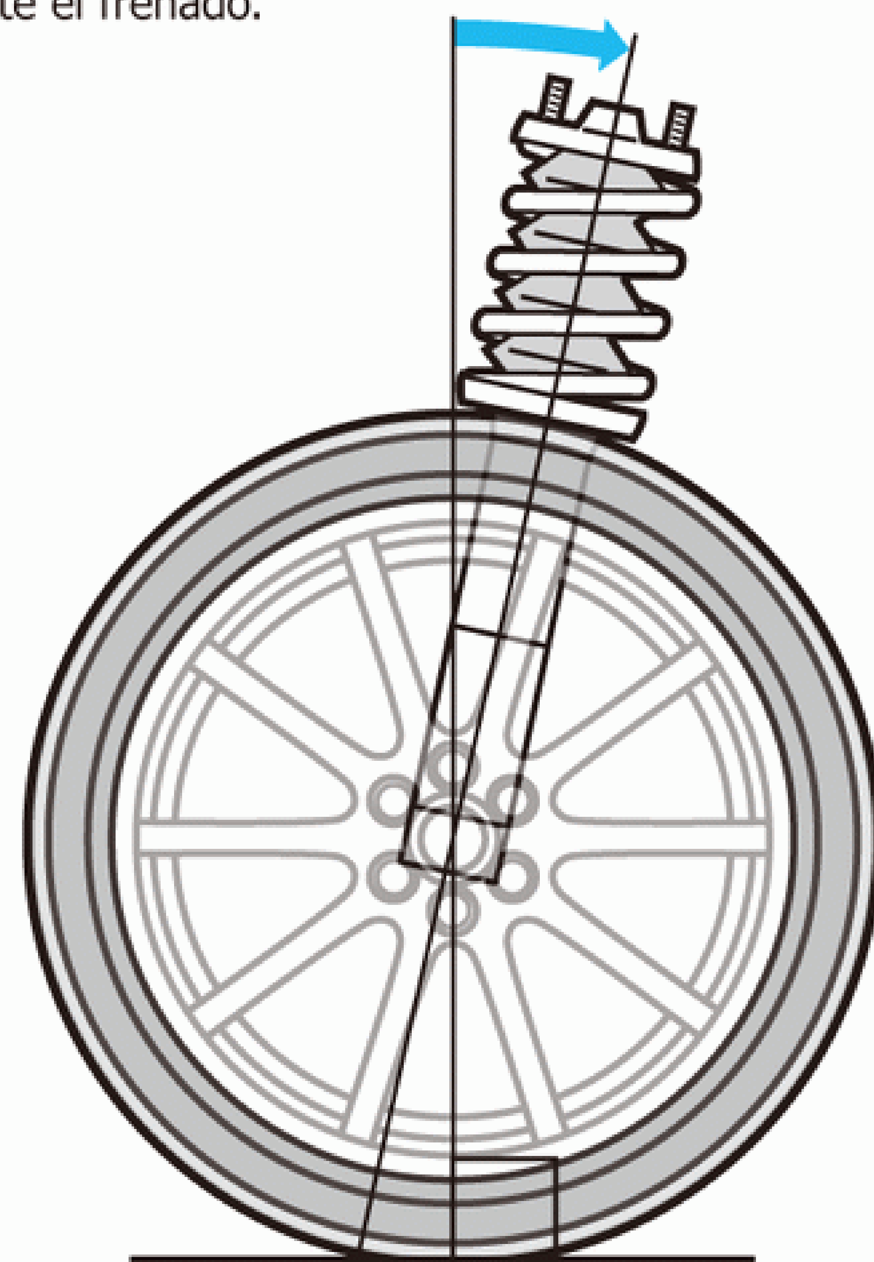
## Ángulo de convergencia

Este es el ángulo de las ruedas izquierdas y derechas cuando se mira el auto desde arriba. Si los frentes de las ruedas apuntan hacia fuera, a esto se le llama "divergencia"; si apuntan hacia adentro, "convergencia". Este ángulo tiene un gran impacto en el movimiento hacia delante del auto, y un ajuste excesivo de este produce un desgaste desparejo de los neumáticos.



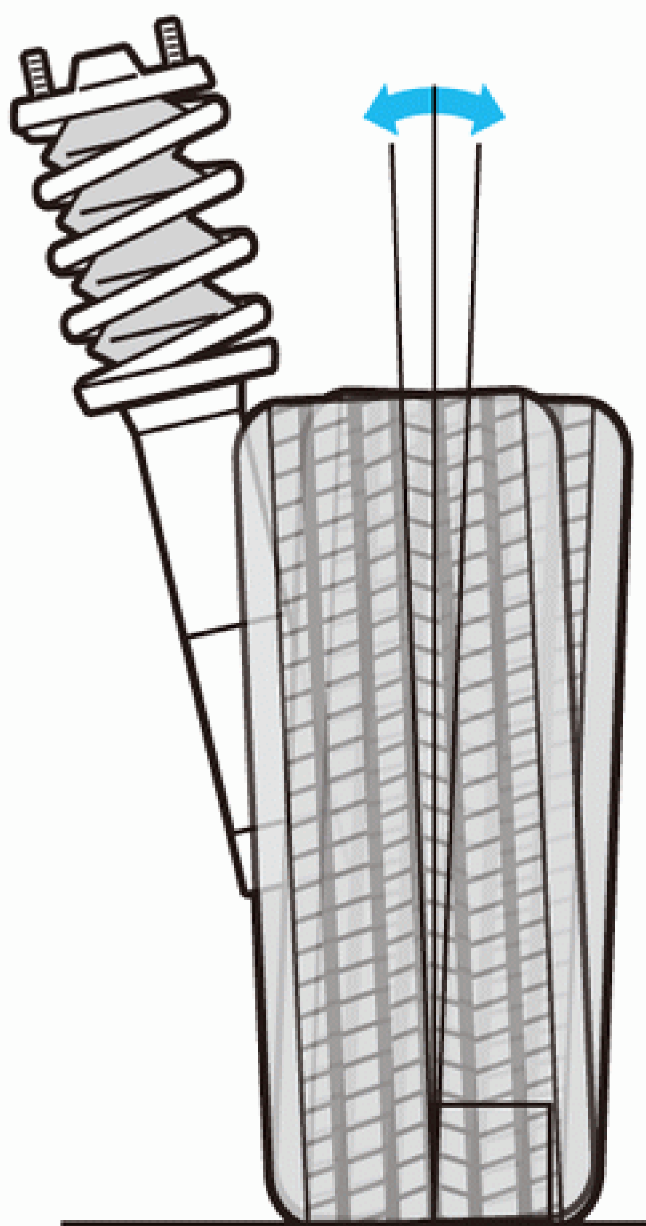
## Ángulo de avance

Este es el ángulo de la suspensión delantera respecto de los neumáticos delanteros cuando se miran desde el costado. El ángulo determina el grado de sacudimiento de las ruedas de lado a lado y también afecta la torsión de autoalineación (la fuerza que intenta hacer volver a las ruedas a una posición recta cuando se gira el volante de dirección). Si los ángulos de avance de las ruedas derechas e izquierdas son diferentes, el auto se moverá en la dirección del ángulo más cerrado o la dirección se moverá hacia un lado durante el frenado.



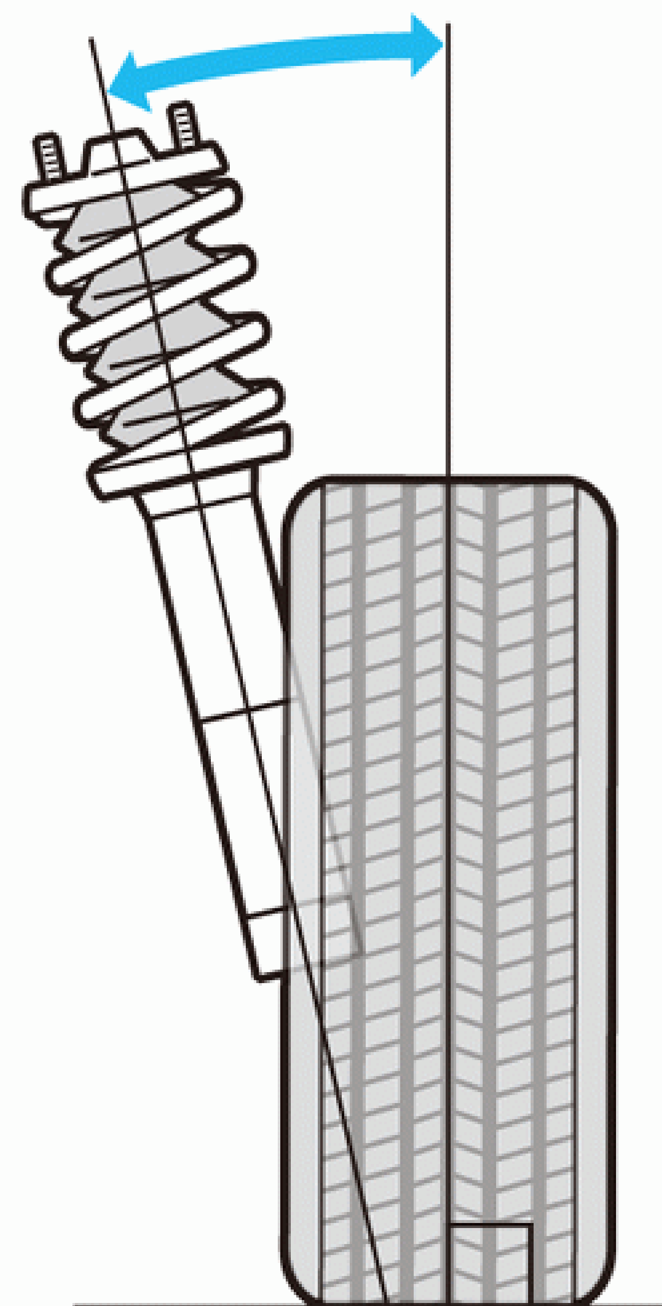
## Ángulo de curvatura

Este es el ángulo de las ruedas en relación con la carretera cuando se las mira de frente. Si la parte superior de las ruedas apunta hacia dentro, es un "peralte negativo". Si apuntan hacia fuera, el peralte es positivo. En la mayoría de los autos, el peralte se ajusta para que sea levemente positivo, a fin de contrarrestar los efectos de las cargas pesadas.



## Inclinación de pivote

Este es el ángulo del eje de instalación de la rueda cuando se mira desde el frente. Normalmente, se ajusta para evitar que las características de la superficie de la carretera le quiten el volante de las manos al piloto, pero también puede incidir sobre la conducción en línea recta, el retorno de la dirección (torsión de autoalineación) y la fuerza de dirección.



# El vínculo entre el auto y la carretera

**Una vez que la potencia del motor atraviesa el tren de transmisión y la suspensión, esta se transfiere finalmente a la carretera a través de las ruedas. No importa cuán bueno sea el auto, su rendimiento solamente será tan bueno como sus neumáticos.**

## Neumáticos de alto rendimiento

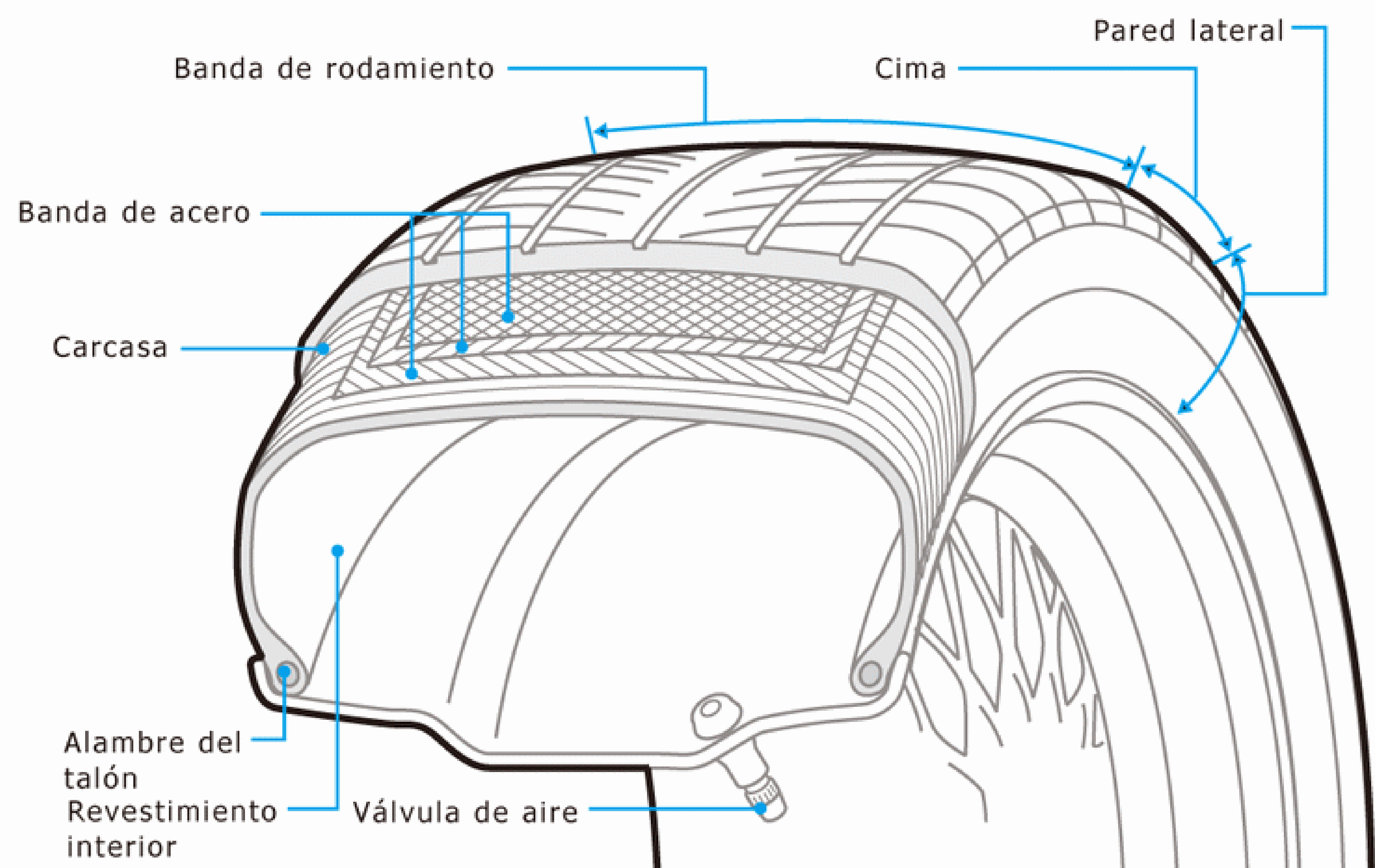
Las características de los neumáticos se pueden dividir en cuatro categorías, en líneas generales: soporte de la carga, absorción de los golpes, aceleración y frenado, y conservación estable de la trayectoria recta durante el viraje. Una vez que establece un buen equilibrio entre estas cuatro funciones, los neumáticos se someten a un ajuste de precisión para satisfacer necesidades específicas.

En los autos deportivos resultan más adecuados los neumáticos que pueden acelerar, decelerar y mantener estable la dirección para asegurar un buen rendimiento de conducción, viraje y frenado. Estos neumáticos deben estar fabricados con caucho de alto agarre que se adhiera a la superficie de la carretera y deben ser muy rígidos para evitar que se deformen con el peso. Esto aumenta la respuesta de la dirección durante el viraje y permite que se tomen las curvas a velocidades más altas.

Por supuesto, los neumáticos de alto agarre tienen sus desventajas. Aunque tienen una gran capacidad de agarre en las curvas, la recuperación se dificulta cuando se excede dicha capacidad y se necesita un alto nivel de habilidad de manejo para esta condición. Estos neumáticos aumentarán la cantidad de tensión generada en la suspensión y la carrocería, y aumentará el balanceo en las curvas debido al agarre extremadamente alto. Los neumáticos tienen un rendimiento tan alto que pueden desplazar el equilibrio del auto, y eso significa que el propio auto tiene que tener un rendimiento suficientemente alto para utilizar esos neumáticos en primer lugar. También debes recordar que debido a que existe mucha fricción entre los neumáticos y la carretera, estos se desgastan más rápidamente, restan confort para el pasajero y son más ruidosos.

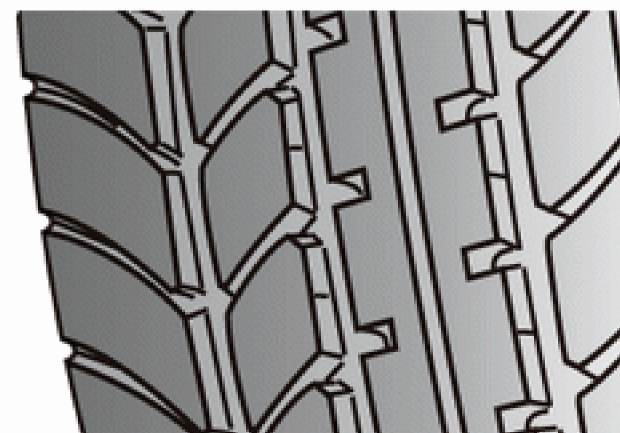
El agarre en las carreteras mojadas está determinado en gran medida por el tipo de dibujo de la superficie de los neumáticos. Estos dibujos están diseñados para eliminar de manera eficaz el agua que se junta de la superficie de la carretera, pero también reducen la rigidez. Resulta complicado encontrar el balance adecuado, especialmente con los neumáticos deportivos.

Un auto no puede exceder las limitaciones de sus neumáticos y, por esta razón, es esencial que un piloto entienda completamente el rendimiento y las características para poder seleccionar los neumáticos que se ajusten a sus necesidades.



# Agarre y rigidez: la clave de la velocidad

## Compuesto de la banda de rodamiento



Este es el caucho usado en la superficie del neumático y que entra en contacto con la carretera. El caucho blando usado para neumáticos de alto rendimiento mantiene un buen agarre en la carretera, pero se gasta rápidamente, mientras que los neumáticos para autos estándares solo mantienen el agarre hasta cierto nivel, aunque usan un compuesto más duro que aumenta la durabilidad. Los neumáticos son normalmente duros y no exhibirán todo su potencial de agarre hasta que se calienten hasta un cierto nivel. Sin embargo, si se sobrecalientan, su agarre se reducirá.

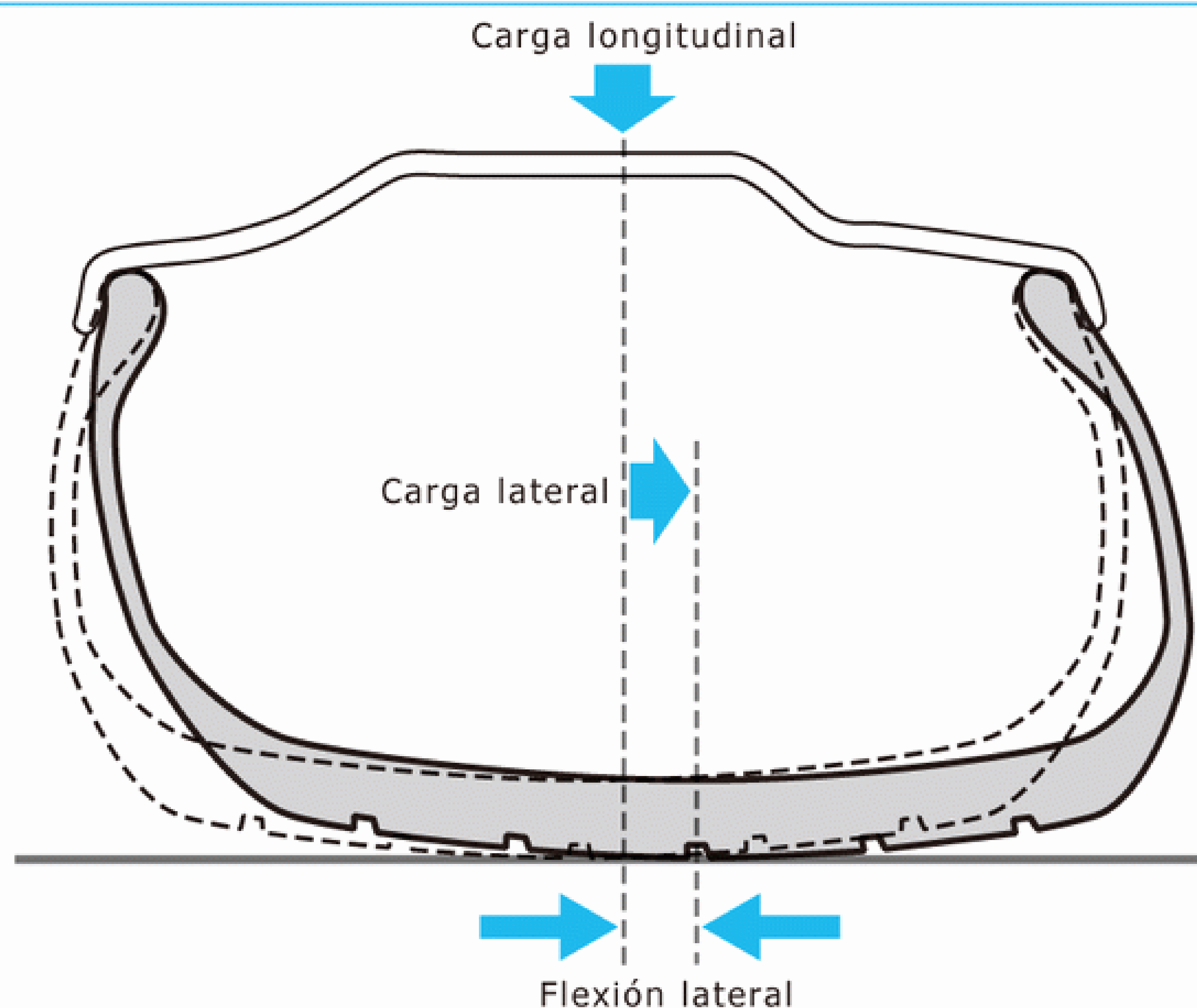
## Patrón de banda de rodamiento



El patrón de dibujos grabados en la parte de la superficie del neumático que entra en contacto con la carretera. El propósito principal de estos dibujos es eliminar el agua del neumático a medida que gira la rueda, y muchos neumáticos tendrán establecida para el patrón del neumático una dirección de rotación que maximiza la capacidad de eliminación de agua. Por otra parte, cuando estos patrones reducen la rigidez de la superficie, en los neumáticos de alto rendimiento se emplean unos pocos dibujos grandes en lugar de un patrón complejo de dibujos pequeños. También hay diseños asimétricos, con menos ranuras en el borde exterior para mejorar la rigidez en las curvas y más ranuras en el interior para eliminar el agua del neumático.

## Rigidez de la cubierta

La cubierta es la superficie total del neumático, incluidas la banda de rodadura, las paredes laterales, etc. Las fuerzas que actúan sobre la banda de rodamiento desde la superficie de la carretera se transmiten a estas diferentes partes hasta alcanzar la base del talón. Es importante contar con una cubierta rígida para evitar deformaciones innecesarias en situaciones como las de aceleración, deceleración y viraje, cuando la cubierta se somete a grandes cargas. Sin embargo, cuando se aumentan la rigidez y el rendimiento, el confort de los pasajeros disminuye, por lo que los neumáticos se modifican específicamente según sus características y su aplicación.



# Llantas de aluminio para carretera

**Una reducción de 1 kg en la masa no suspendida equivale a una reducción de 15 kg en la masa suspendida. Las llantas livianas para carretera ayudan a obtener el mejor rendimiento durante la aceleración, la deceleración, el frenado y las curvas.**

## Masa no suspendida

A pesar de que a veces pareciera que son decorativas, las llantas de aluminio mejoran el rendimiento de manera significativa.

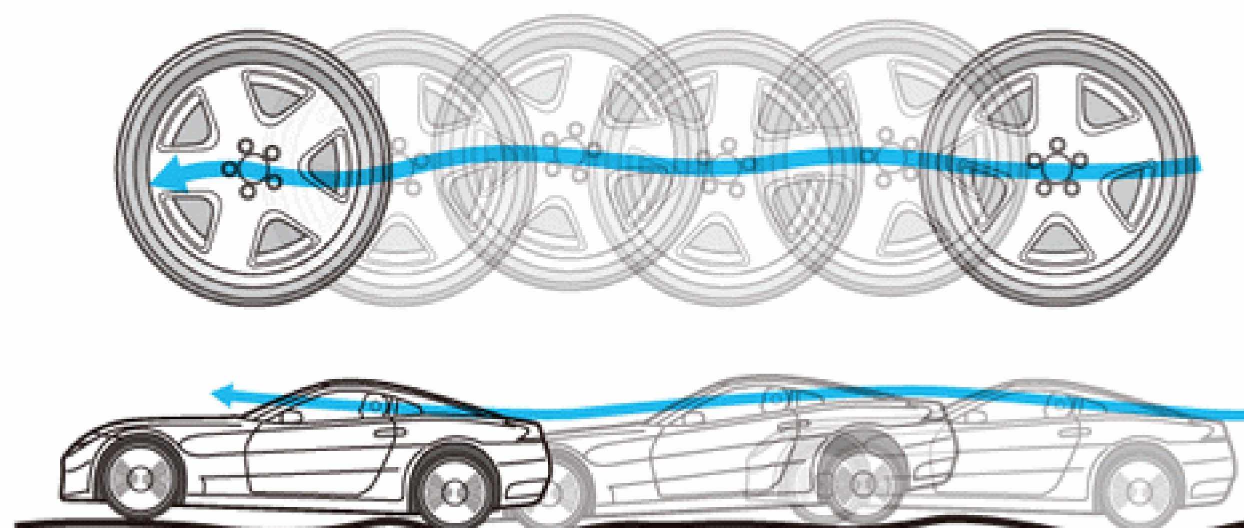
Un auto necesita la mayor potencia cuando se mueve tras estar completamente detenido. Para que las ruedas comiencen a moverse desde una posición estacionaria, se requiere mucha energía y, cuanto más pesadas sean estas, más energía se requiere. Las llantas más livianas requieren menos energía y, por lo tanto, menos potencia del motor.

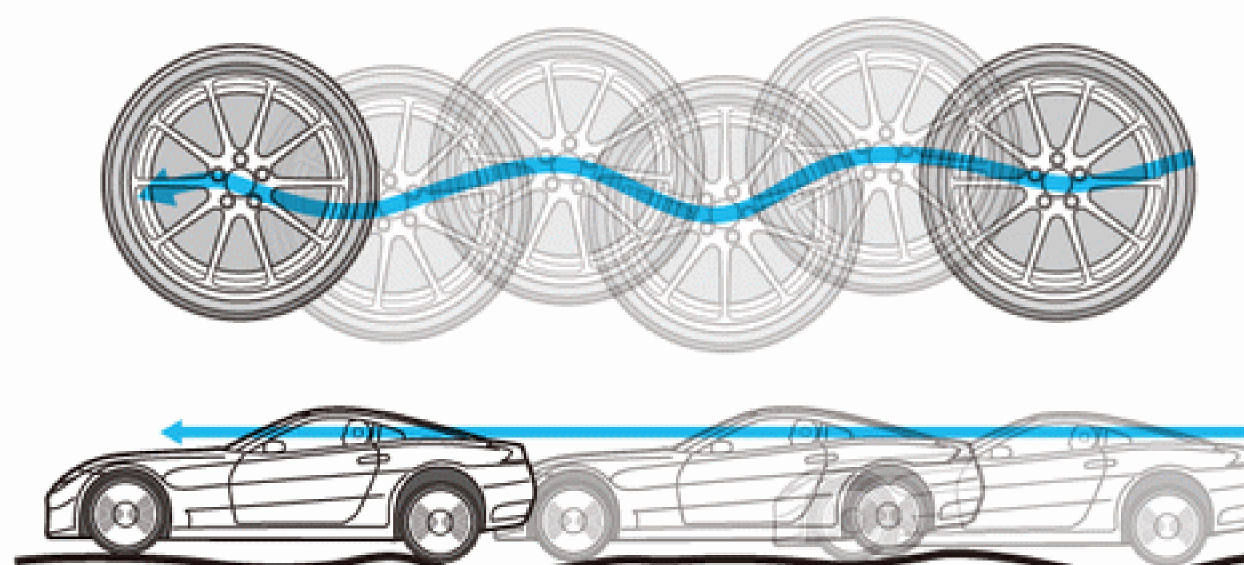
El peso no soportado por la suspensión se conoce como "masa no suspendida" y tiene un impacto significativo en el rendimiento de conducción de un auto. Si las llantas y los neumáticos son livianos, la aceleración y la puesta en movimiento tras la detención total mejoran, y la eficacia de frenado aumenta, ya que es más fácil detener el movimiento de las ruedas. La suspensión también se vuelve más suave, lo que mejora la comodidad y el movimiento sobre la superficie de la carretera. La eficacia de combustible mejorada es otro beneficio.

La popularidad de las llantas de aluminio en los autos deportivos es un testimonio de las ventajas de rendimiento que ofrecen. Un kilogramo menos de masa no suspendida equivale a una reducción de 15 kg de masa suspendida y, en el mundo de los deportes de motor, la masa no suspendida a veces se reduce más con el uso de llantas de aleación de aluminio, que son incluso más livianas que el aluminio.

Las llantas de aluminio estándar tienen los beneficios de una eficiente conducción de calor y pueden descargar de manera efectiva el calor generado por los frenos. Además, son más resistentes a la corrosión que las llantas de acero.

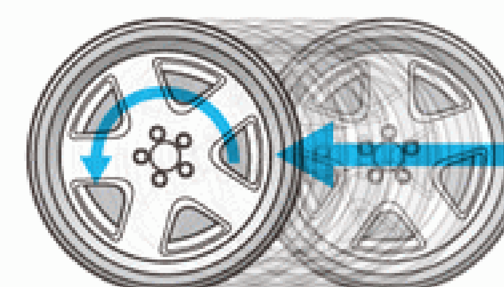
Sin embargo, se debe tener cuidado al instalar llantas nuevas, ya que un tamaño mayor puede truncar los beneficios de peso que ofrece un material más liviano. Un aumento importante en el tamaño de las llantas tiene el efecto inevitable de aumentar la masa no suspendida, y las ventajas de los neumáticos de perfil más bajo deben analizarse cuidadosamente contra las desventajas de este peso aumentado.

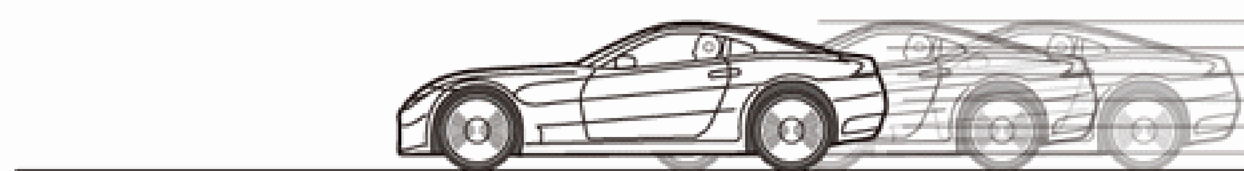


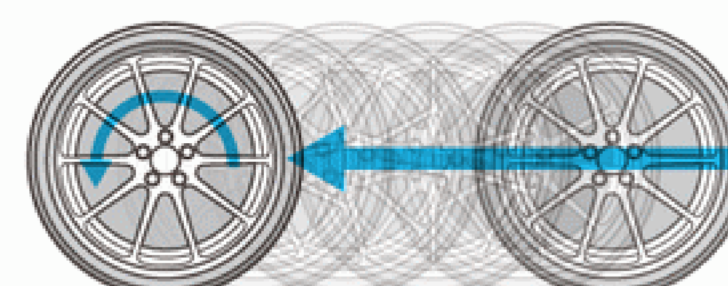


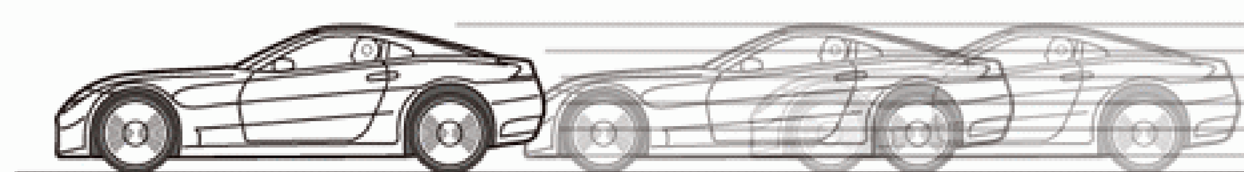
Cuanto menor es el peso de la rueda, mayor es la parte del neumático que se apoya sobre la superficie del suelo, lo que brinda un andar plano y confortable.

El bajo peso de la rueda también puede reducir la potencia del motor necesaria para poner el auto en movimiento.









## Tipos de llantas livianas

### De una pieza

En esta construcción básica, la llanta y el disco están fabricados en una sola pieza de metal. Las llantas se cortan a máquina después del vaciado (o forja), lo que les brinda un alto grado de precisión. Si bien este tipo de llantas tiene una libertad de diseño relativamente baja, el hecho de que estén fabricadas con una sola pieza de metal las hace más livianas y más balanceadas que las de dos o tres piezas.

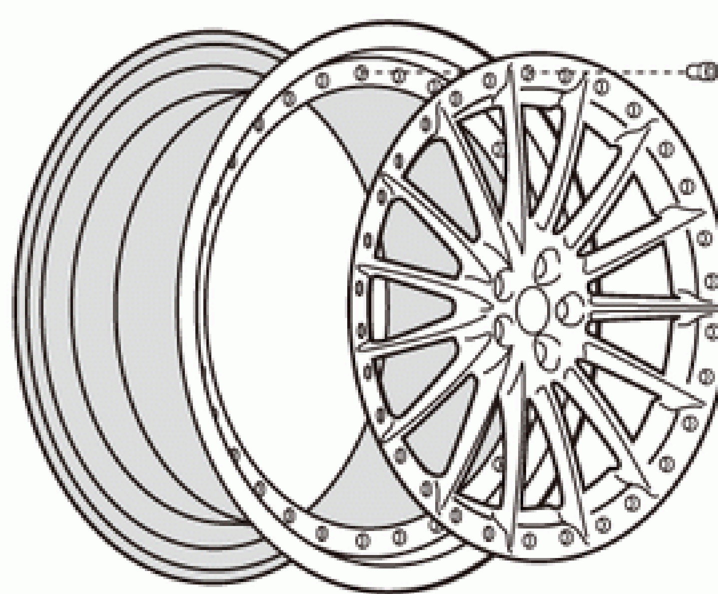
### De dos piezas

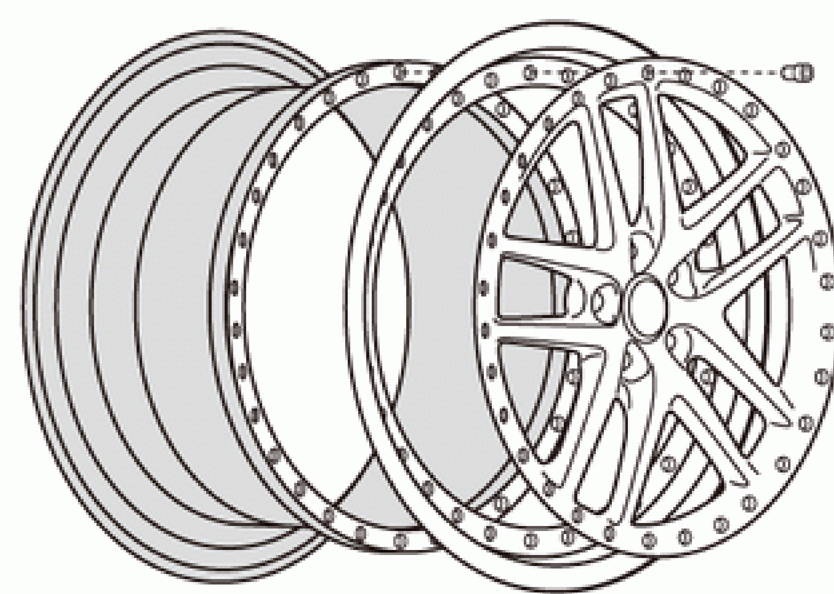
El disco y la llanta se fabrican como dos piezas separadas, que se unen con tuercas y pernos o se sueldan. Los materiales usados para fabricar el disco y la llanta pueden ser diferentes (aluminio, magnesio, titanio, etc.), y también se pueden utilizar diferentes métodos de fabricación (forja o vaciado). Estas ruedas tienen el beneficio de ofrecer una amplia gama de opciones de diseño de discos y de cantidad de balance.

### De tres piezas

La parte trasera y delantera de la llanta se sueldan entre sí, y el disco se sujeta con pernos pasantes. El diseño de tres piezas tiene las mismas ventajas que el diseño de dos piezas, a pesar de que es levemente más pesado a causa de los pernos pasantes. Sin embargo, tiene incluso más libertad de diseño que el de dos piezas, y las llantas fabricadas para el estilo son a menudo de este tipo.







## Métodos de fabricación

### Fundición

Método por el cual el aluminio fundido se vierte en un molde. En las llantas de dos y tres piezas, el alto grado de flexibilidad en el diseño del disco es una ventaja. Sin embargo, el metal debe ser bastante denso para ser suficientemente fuerte, lo que hace que la ventaja de peso sobre las llantas de acero solo sea leve. A pesar de esto, el bajo costo del vaciado lo transforma en el método más común en la fabricación de llantas de aluminio.

### Forja

Un bloque de metal se comprime con miles de toneladas de presión (para alinear las moléculas del metal), con lo que se crea un material resistente y duro. En comparación con el proceso de moldeado, el metal es mucho más resistente, de modo que el espesor de las piezas se puede reducir y hacer que los componentes sean muy livianos. La rigidez incrementada implica que el límite elástico es alto, aunque débil en comparación con las fuerzas de curvatura. También es más costosa la producción y las posibilidades de diseño son limitadas debido al proceso de fabricación. También se pueden usar otros materiales, además del aluminio, y algunos autos de carreras y deportivos utilizan llantas piezas forjadas con magnesio que son aun más livianas.

# Los diversos beneficios del peso reducido

# El efecto del aire sobre la carrocería

**El diseño de la carrocería puede transformar completamente el rendimiento de alta velocidad, lo que mejora la velocidad máxima, la estabilidad y la eficacia. Ningún debate sobre el diseño de autos estaría completo sin dar una mirada a la importancia de la aerodinámica.**

## Resistencia aerodinámica y sustentación

A alta velocidad, el efecto de la resistencia aerodinámica es enorme y a veces se tiene la sensación de que una pared invisible de aire está evitando que el auto avance.

Cuando un auto se desplaza a una velocidad de 80 km/h (50 mph), el efecto de la resistencia aerodinámica no se puede ignorar. Después de ese punto, la resistencia aerodinámica aumenta como el cuadrado de la velocidad del auto. Es decir, si la velocidad del auto se duplica, la resistencia aerodinámica se cuadruplica, y si esa velocidad se triplica, la resistencia aerodinámica aumenta nueve veces. También se debe tener en cuenta la resistencia de balanceo de las ruedas, aunque esta resistencia no es tan crítica debido a que cuando la potencia del motor ya no puede superar la pared de aire, la máxima velocidad efectiva del auto es la del momento en cuestión. En los autos de carrera y deportivos que necesitan alcanzar una alta velocidad y garantizar rendimiento en el rango de alta velocidad, e incluso en autos de calle que necesitan alcanzar la máxima eficacia, la reducción de la resistencia aerodinámica es un aspecto de importancia mayor.

Los autos más bajos respecto del suelo tienen una resistencia aerodinámica menor que los autos más altos, y las formas que fluyen o las formas en cuña que permiten que el aire pase suavemente sobre estos también ofrecen menos resistencia. Los diseños con superficies de carrocería lisas, sin protuberancias o piezas salientes también permiten que el aire pase más libremente.

Por otra parte, es importante tener en cuenta que la mayoría de las carrocerías de baja resistencia se parecen a las alas de los aviones cuando se ven desde un costado y, de la misma manera que ocurre con las alas, el aire fluye más rápidamente por arriba que por debajo, lo que genera sustentación y hace que el auto pierda contacto con el suelo. Pero la supresión de la elevación aumenta la resistencia aerodinámica, y una parte importante del desarrollo de diseño determina dónde ubicar el equilibrio entre la resistencia aerodinámica y la sustentación.

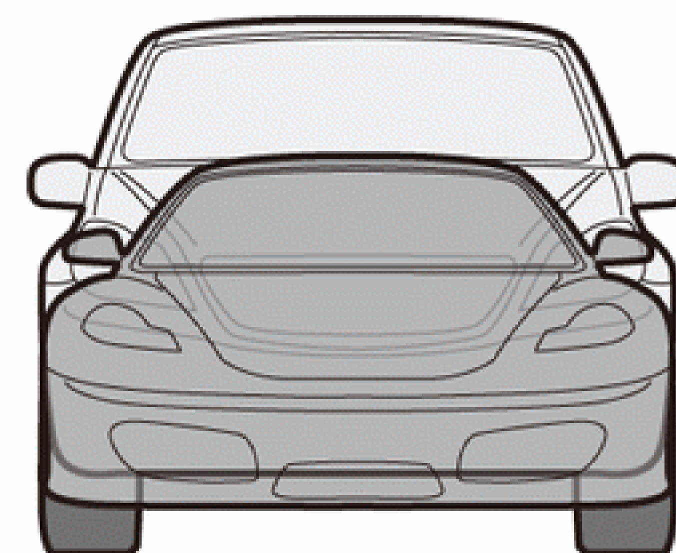
Adicionalmente, también se deben tener en cuenta las interferencias a la estabilidad en línea recta debido a los vientos laterales; esto significa que una carrocería aerodinámica requiere un equilibrio perfecto entre la resistencia aerodinámica, la sustentación y el momento de derrape.



## Área de superficie frontal

► Área frontal

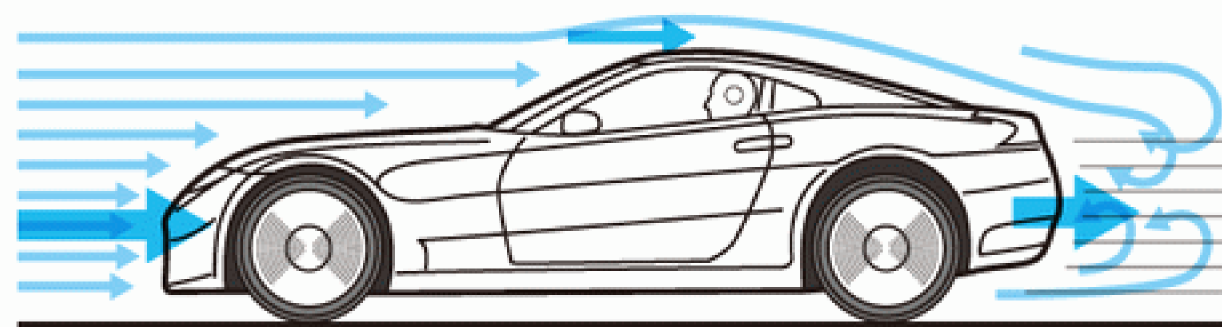
Es la silueta de la carrocería del auto cuando se ve desde el frente. Cuanto más grande es esta área, mayor resistencia aerodinámica se encuentra. La reducción del área frontal, o la resistencia del viento, es una de las razones por las que los autos deportivos tienen carrocerías más bajas. El área frontal más grande es una desventaja de los autos y de las furgonetas con formas más cuadradas.



## Cd: Coeficiente de arrastre

► Arrastre constante

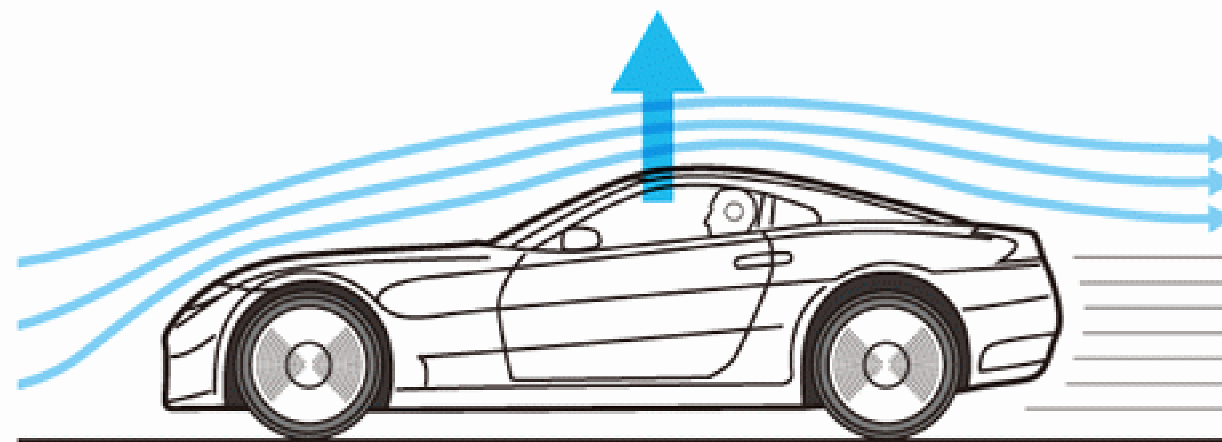
Un número que representa el grado de suavidad con el que el aire pasa por un objeto. Este es un valor fijo y como tal no está afectado por la velocidad. La resistencia aerodinámica se calcula multiplicando el coeficiente de arrastre por el área frontal. Consecuentemente, si el Cd es grande y el área delantera pequeña, como en muchos autos deportivos pequeños, la resistencia aerodinámica será, de todas maneras, pequeña. Lo contrario se puede afirmar de los sedanes que tienen un área frontal más grande.



## Cal: Coeficiente de sustentación

► Sustentación constante

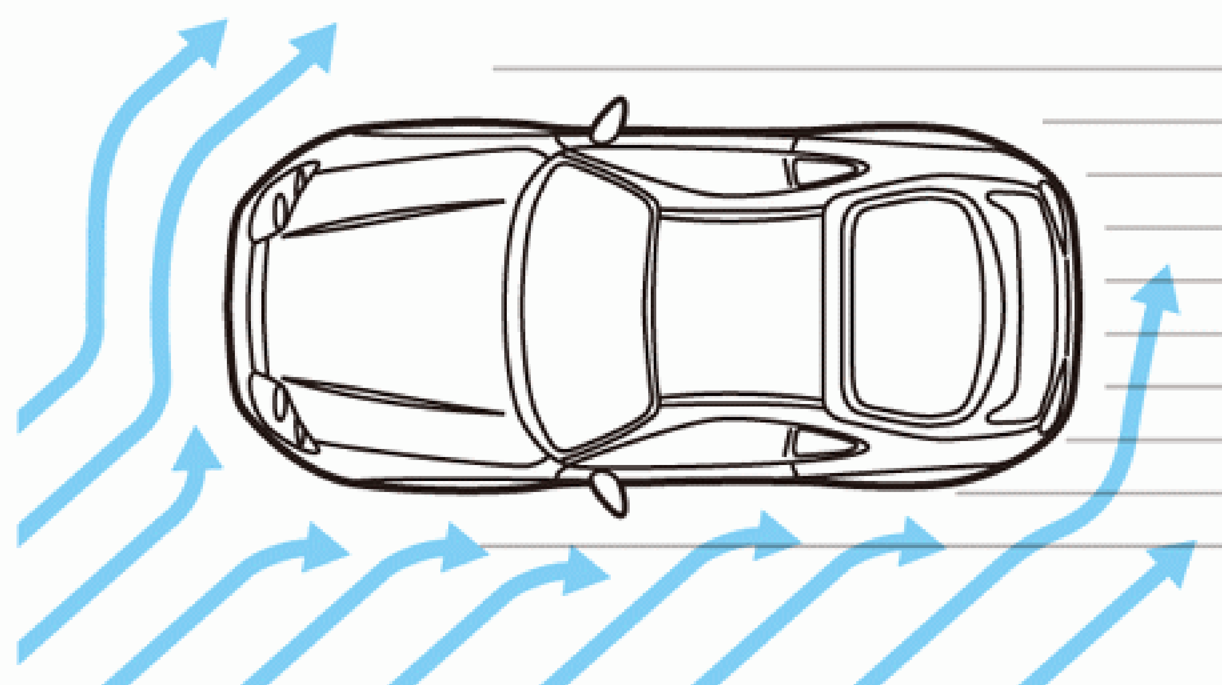
Este es un número que representa la fuerza ascendente que el aire ejerce sobre un auto cuando se desplaza a alta velocidad. La fuerza opuesta se llama "carga aerodinámica" o "sustentación negativa". Lograr una carga aerodinámica significa aumentar la resistencia, y asegurar la estabilidad es cuestión de encontrar el equilibrio óptimo de carga aerodinámica en la parte delantera y trasera.



## CYM: Momento de guiñada constante

► Coeficiente de momento de derrape

Cuando se conduce, los vientos no siempre inciden de frente sobre el auto. La fuerza que se genera en el centro del auto y que puede hacer que el auto dé un trompo al ser alcanzado por vientos laterales se denomina "momento de guiñada". Los autos con un CYM reducido son resistentes a los vientos cruzados; en general, los autos altos con un centro de gravedad más alto se ven más afectados.



# Factores que inhiben el rendimiento a alta velocidad

A
Alineación de las ruedas 118
Amortiguador 114
Ángulo de avance 118
Ángulo de convergencia 118
Ángulo de curvatura 118
Ángulo de pivote 118
Área de superficie frontal 125
AT 105
B
Balance del peso 92
Banda de rodamiento 120
Bloqueo por vapor 111
Brazo de suspensión 114
Buje de suspensión 115
C
Carrocería monocasco 109
Carrocería sobre el bastidor 109
Cd (Coeficiente de diseño) 125
CL (Coeficiente de sustentación) 125
Compuesto de la banda de rodamiento 121
CYM (Coeficiente de momento de derrape) 125
D
DCT 105
Disco sólido 112
Discos ventilados 110
Distancia entre ejes 90
DOHC 96
E
Eje rígido 116
En línea 95
Engranajes diferenciales 106
Espoleta doble 114
Estabilizador 115
F
FF 92
Forja 123
FR 92
Frenos de tambor (frenos de tipo anterior y posterior) 111
H
Horizontalmente opuesto (motor) 95
I
Índice de compresión 103
L
LSD (Diferencial de desplazamiento limitado) 107
M
Masa no suspendida 116
Momento de guiñada de inercia 90
Motor en V 95
Motor en W 95
Motor rotativo 97
MR 92
O
OHV 96
P
Patrón de banda de rodamiento 121
R
Relación carrera-calibre 103
Relación peso-potencia 91
Resorte 114
Rigidez 108
Rigidez de la cubierta 121
Riostra 114
RR 92
S
Sistema de control activo 107
Sistema híbrido 100
Sistema paralelo 101
Sobrealimentador 98
SOHC 96
Suspensión independiente 114
Sustentación 124
T
Tipo con agujeros cruzados 112
Tipo de aletas en espiral 112
Tipo de disco 112
Tipo de pistón opuesto 110
Tipo de series 101
Tipo de tambor 111
Tipo flotante 113
Tipo independiente 116
Tipo paralelo de serie 101
Tipo sensible a la velocidad (LSD) 107
Tipo sensible al par motor (LSD) 107
Tracción 91
Tracción integral 93
Turbocompresor 97
TVC 105
U
Última marcha 105
V
Vaciado 123
Varillaje múltiple 117
Voladizo 90

# Revisión: Modificación y ajustes

3

La revista de Gran Turismo
Más allá de Apex

# Cómo mejorar el rendimiento del motor

**Modificar un motor únicamente para obtener la máxima potencia dará como resultado un auto que será difícil de manejar y no rendirá bien en la pista. La modificación tiene que ver con tratar de obtener los ajustes óptimos para el vehículo, según la pista en cuestión y el propio estilo de carrera.**

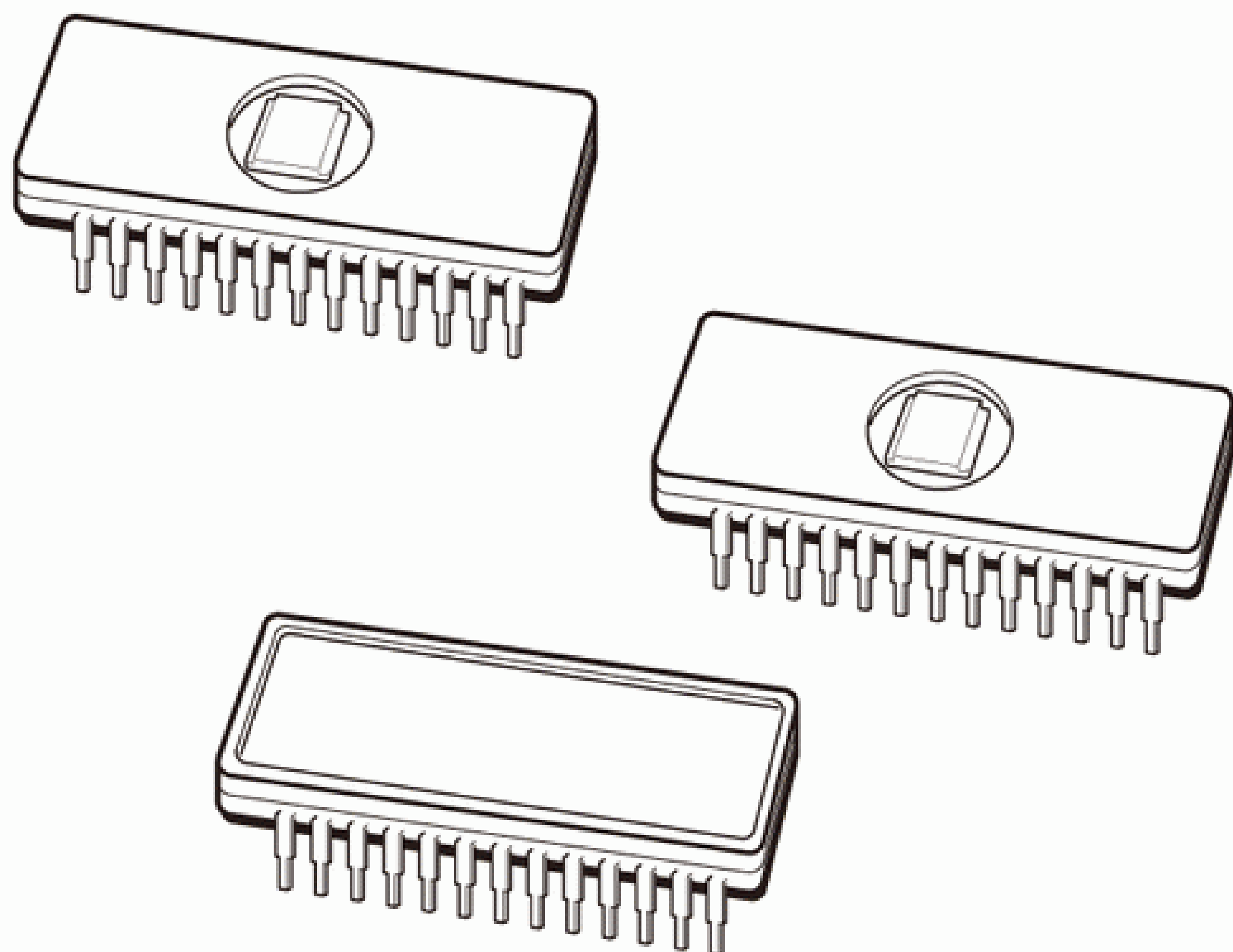
## Ajuste de precisión

Reemplazar la unidad de control del motor (ECU, engine control unit) y mejorar la eficacia del sistema de escape son algunos de los primeros pasos básicos para mejorar el rendimiento de un motor. Una vez que se siguen, estos primeros pasos establecen la base para realizar modificaciones más importantes, como los cambios de tipo mecánico o la colocación de un turbocompresor. Estos primeros pasos tal vez no permitan obtener un gran aumento de potencia, pero harán que sea posible lograr revoluciones más suaves y una respuesta más rápida. La tensión agregada al motor a través de estas modificaciones es bastante reducida y, de hecho, verdaderamente protegerá el motor cuando se someta a cargas elevadas.



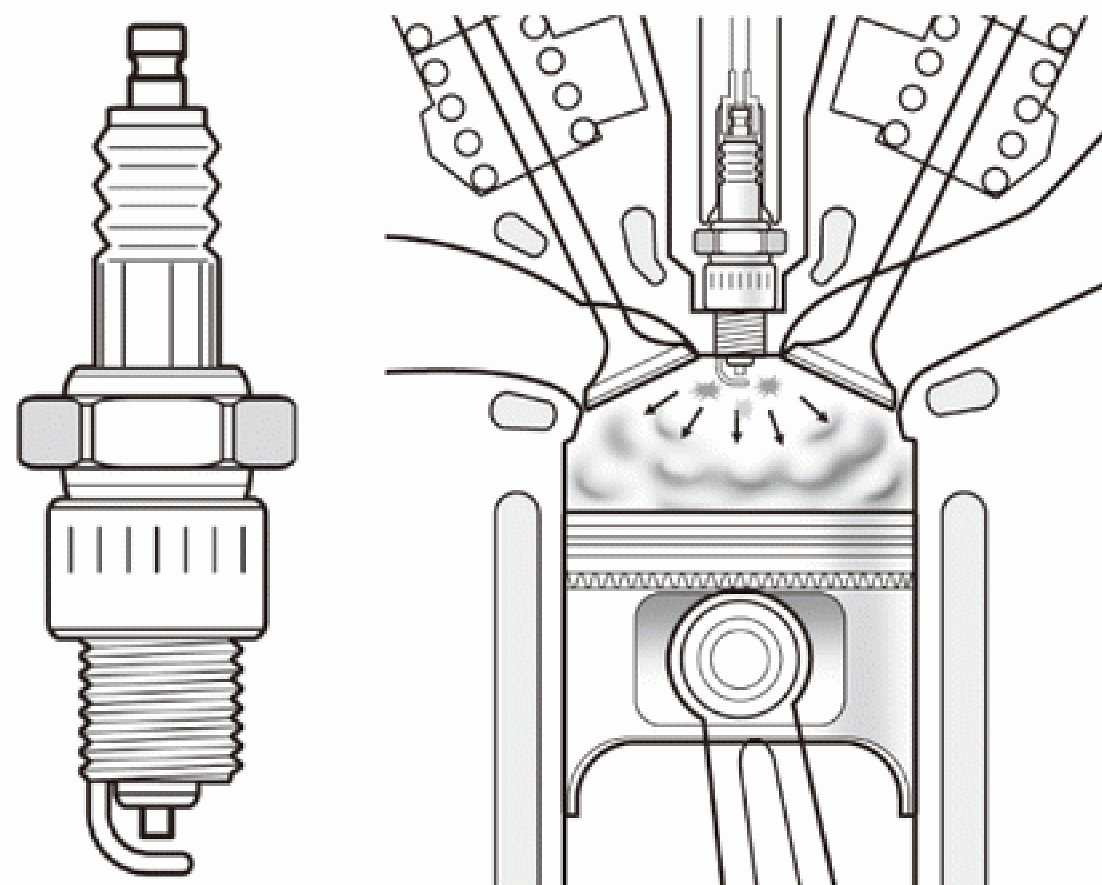
### Unidad de control del motor (ECU)

La actualización de datos de control del motor guardados en la memoria de solo lectura (ROM, read-only memory) de la ECU se conoce como "modificación por chip" o modificación de la ECU. Al igual que la temporización de encendido, la relación combustible-aire, el volumen de inyección de combustible y el control de válvulas también se pueden calibrar. Es necesario modificar la ECU cada vez que se eleva la presión del turbo, reemplazar las piezas del sistema de admisión o escape, o realizar modificaciones en el propio motor.



### Bujías incandescentes

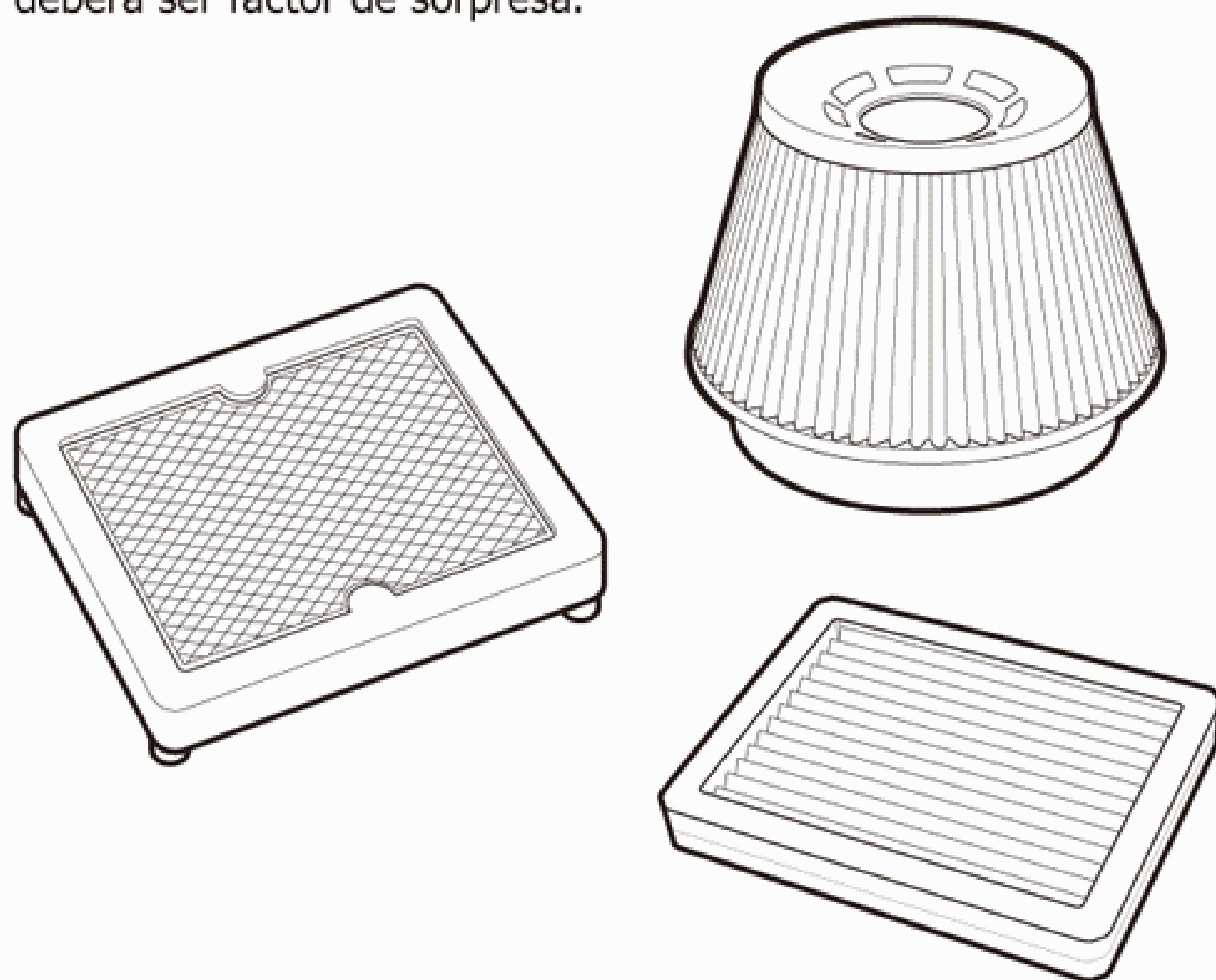
Una chispa fuerte es esencial para que la mezcla de combustible y aire en la cámara de combustión se encienda en forma adecuada. Incluso en un motor estándar sin modificaciones, si se hace funcionar continuamente bajo una carga elevada con bujías incandescentes regulares, estas experimentarán tensión debido al calor excesivo. Esto hace que sea particularmente importante mejorar las bujías cuando el motor se ha modificado para producir más potencia. El aumento en la combustión del motor elevará la temperatura en la cámara de combustión, lo que hará que se vuelva más propensa a generar combustión anormal (preencendido). Para evitar esto, se debe utilizar una bujía incandescente con un rango de calor más amplio.



# Aspectos básicos de la modificación

## Filtro de aire

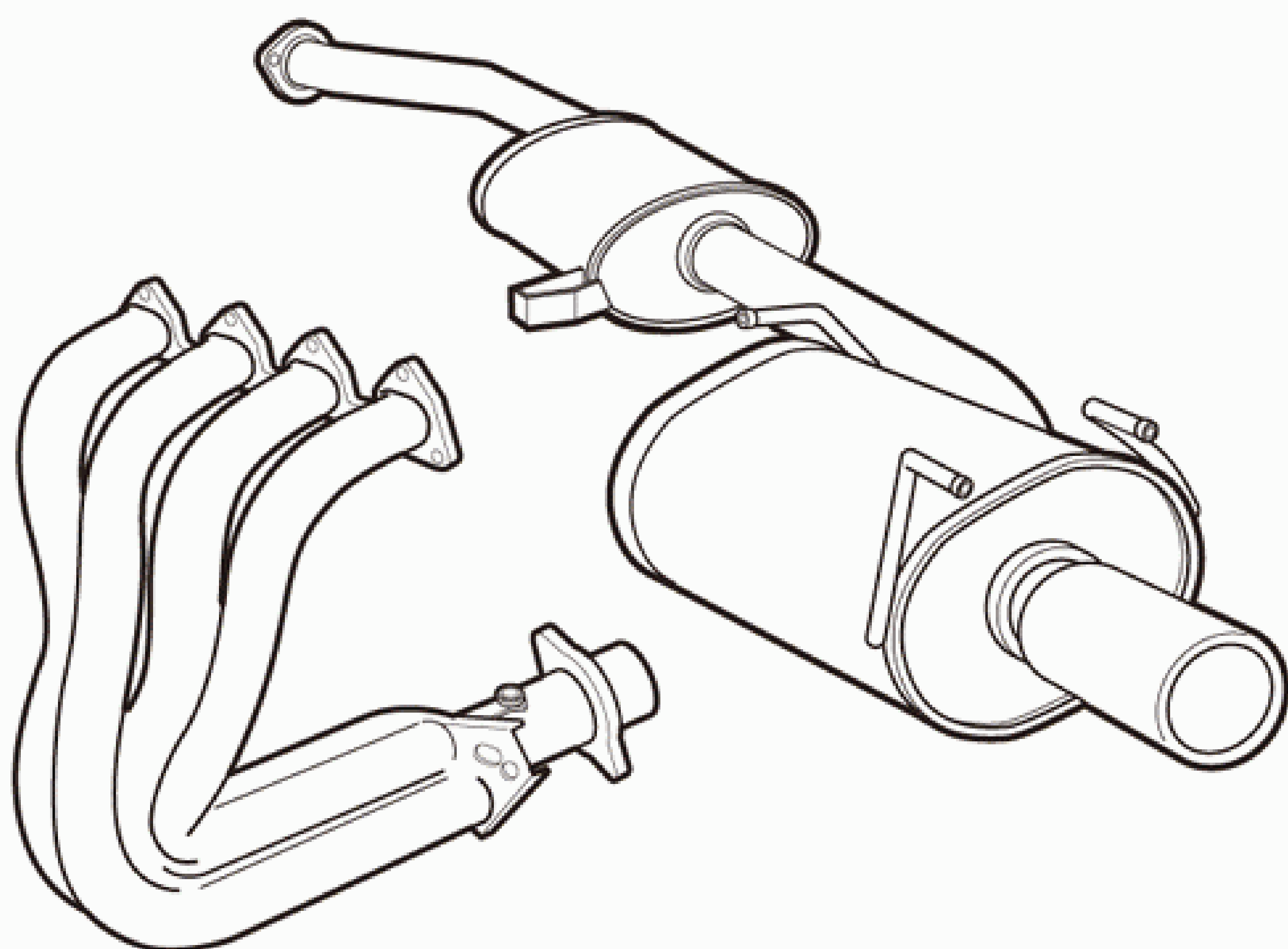
El filtro de aire estándar utilizado para proteger el motor contra el ingreso de polvo y otras impurezas tiene un alto nivel de resistencia y es inferior en términos de potencia. Por lo tanto es preferible optar por un filtro de aire de baja resistencia diseñado específicamente para carreras. Más que con aumentar la potencia del motor, esto tiene que ver con mejorar la recuperación durante la aceleración y la respuesta a altas r. p. m. Un aumento en el ruido del motor al succionar el aire no deberá ser factor de sorpresa.






## Sistema de escape

Con la reducción de la resistencia del escape, el motor acelerará más rápido y la respuesta del acelerador se volverá claramente más definida. Los motores turbo en particular, que utilizan energía del escape, pueden experimentar aumentos de potencia del 10 al 20 % con una simple mejora en el silenciador. Sin embargo, se debe tener en cuenta que el cambio de componentes del escape afectará las características del par motor, de modo que siempre es importante tener en mente una imagen clara del efecto que se intenta lograr.



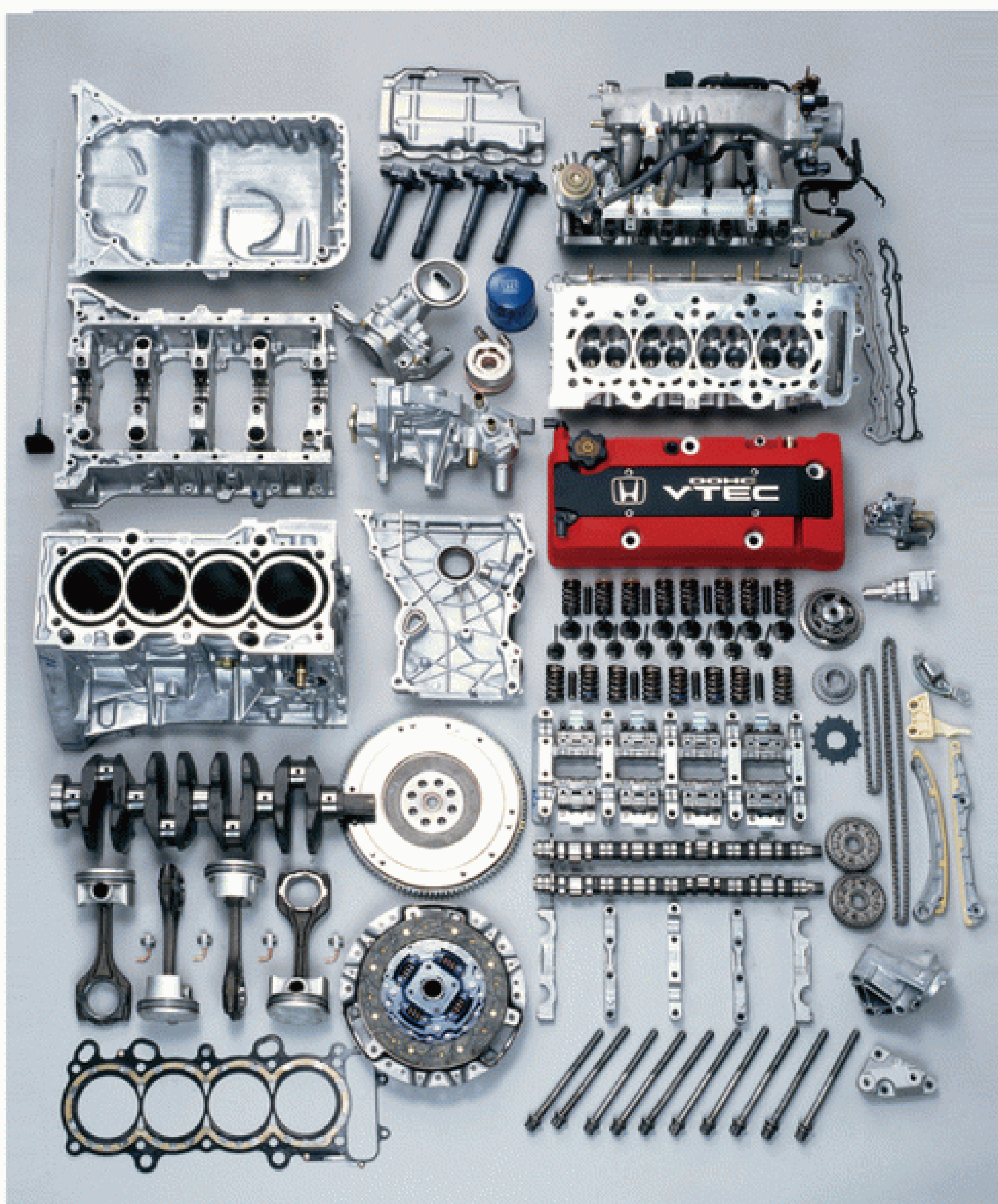
## Aceite del motor

Los motores de alta potencia ejercen enormes tensiones sobre sus componentes, en particular sobre sus partes internas, por lo que es absolutamente esencial utilizar aceite de motor de alto rendimiento. El aceite del motor funciona como lubricante, como agente refrigerante y como una barrera que mantiene una condición de hermetismo. Si el aceite no puede cubrir las superficies de manera apropiada, el cilindro no podrá mantener la presión y el motor perderá potencia. La pérdida de lubricación entre las piezas metálicas de movimiento rápido también puede hacer que dichas piezas se agarroten o se fundan. La viscosidad del aceite también es un factor importante, ya que puede aumentar la pérdida de fricción (pérdida de potencia por fricción excesiva). En la actualidad se utilizan aceites de baja viscosidad sintetizados químicamente que conservan el rendimiento aun bajo condiciones de funcionamiento exigentes.

# Poner a punto el motor

No se puede afirmar que los motores de producción en serie ostentan una precisión perfecta en su ensamblaje, y hay casos en que no rinden todo su potencial. Desarmar por completo el motor hasta que queden sus componentes más pequeños y reconstruirlo íntegramente con absoluta precisión puede aumentar su rendimiento general. Mientras se pone a punto el motor de este modo, se pueden aumentar las capacidades aun más reemplazando ciertas piezas por alternativas más livianas y balanceando varias piezas para obtener un efecto agregado. Si no estás sujeto a limitaciones relacionadas con la cilindrada del motor, puedes incluso utilizar esta oportunidad para aumentar la capacidad de cilindrada del motor, lo que mejorará la potencia y el par motor aun más sin tensión.

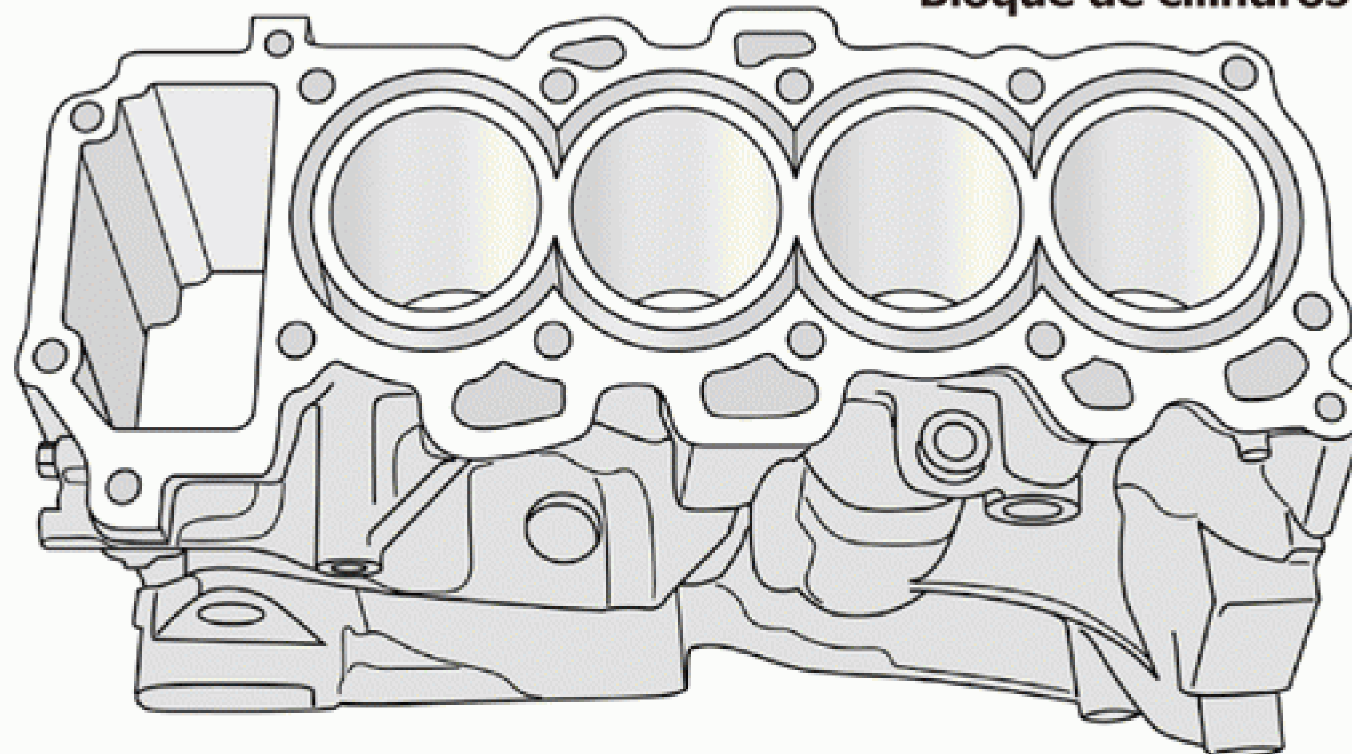
Algunos motores modernos se balancean con tanta precisión al abandonar la línea de producción que no dejan muchas oportunidades de mejoramiento mediante la puesta a punto.

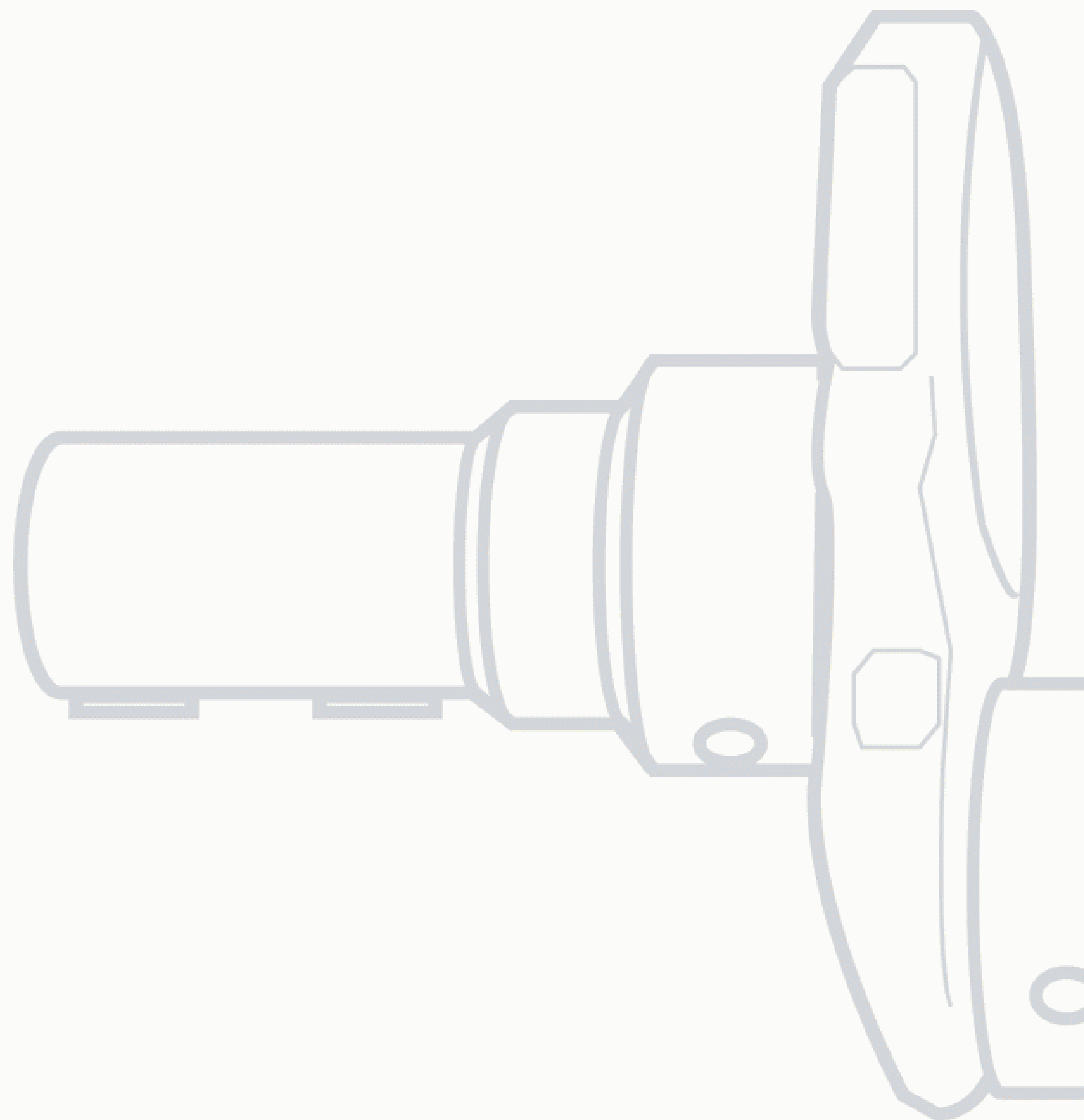



## Aumentar la cilindrada

Este es el modo más efectivo de mejorar el rendimiento cuando se modifica el propio motor. Si se aumenta la cantidad de mezcla de combustible y aire quemada se puede aumentar la potencia del motor. Esto se puede lograr "ensanchando" el cilindro (agrandando su diámetro) e instalando pistones de mayor diámetro, o "aumentando la carrera", agrandando la carrera de los pistones mediante el reemplazo del cigüeñal y de las bielas. Aunque ambas opciones aumentan la cilindrada del motor, cada una tiene características diferentes. El ensanchamiento es más adecuado para aumentar las r. p. m. del motor y darle mayor potencia, mientras que el incremento de carrera aumenta el par motor a revoluciones bajas e intermedias. Sin embargo, debido a que los motores modernos se han vuelto más livianos, los bloques de cilindros se han vuelto más angostos, lo que en gran medida dificulta cualquier ensanchamiento.

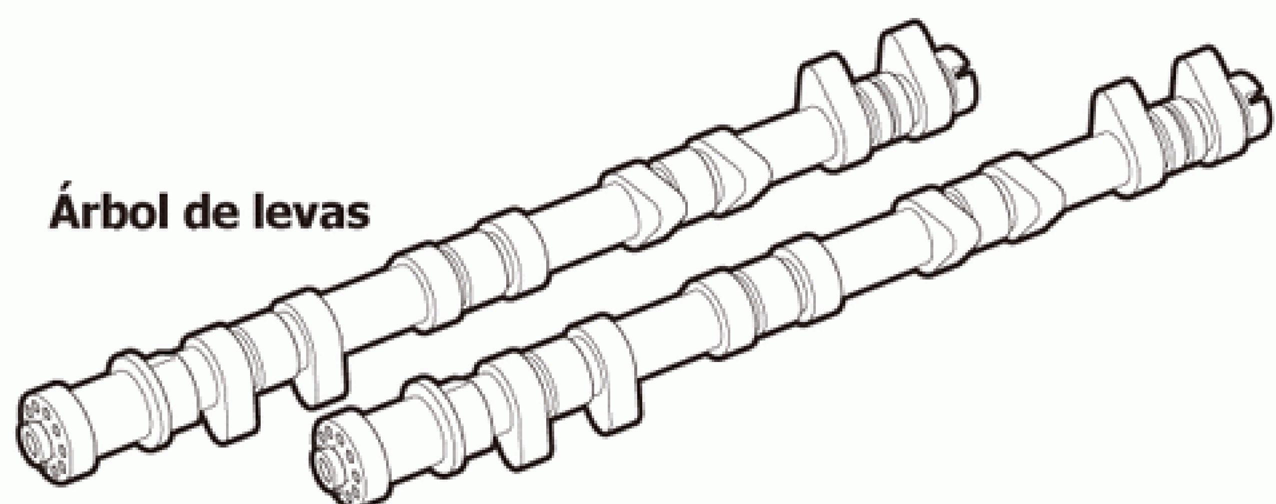
**Bloque de cilindros**





## Balanceo

En un motor normal, los pesos de los pistones y de las bielas de cada cilindro difieren muy levemente. A su vez, si hay alguna desviación en el equilibrio de rotación del cigüeñal, esta puede generar resistencia, que es una de las causas principales de la pérdida de potencia. El balanceo del motor involucra el desarmado de este y el pesaje cuidadoso de cada componente. Al hacer que cada pieza tenga un peso uniforme y al corregir el equilibrio de rotación para mejorar el movimiento del cigüeñal, se puede hacer que el motor funcione mejor y, por lo tanto, con más eficiencia, para generar más potencia. En situaciones en que la modificación de una pieza para corregir el desequilibrio de peso no es suficiente, a veces se reemplaza la pieza entera. Este tipo de modificaciones es absolutamente esencial para las carreras monomarca, en las que las modificaciones mayores en un auto no están permitidas.

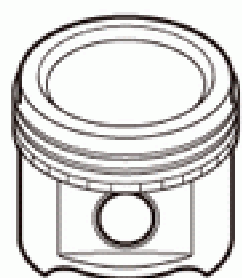
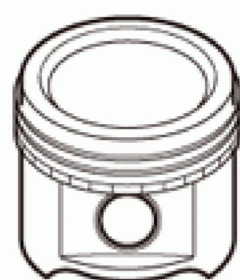
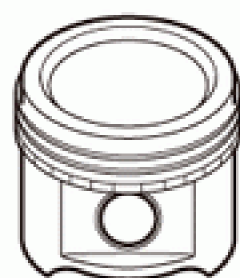
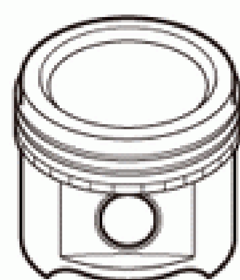


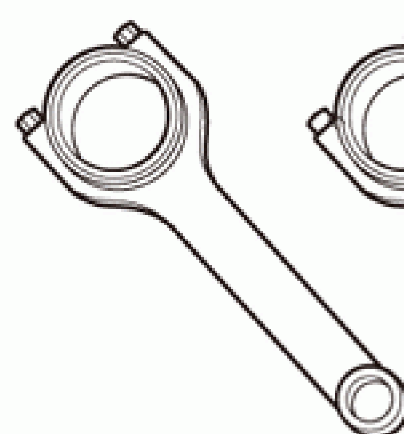
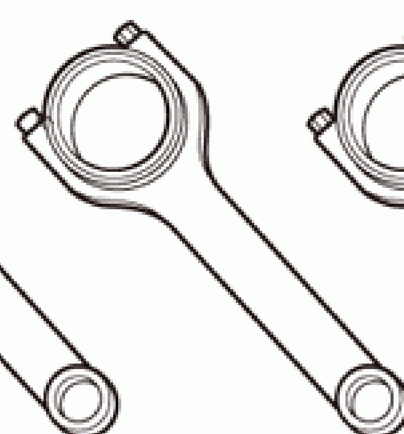
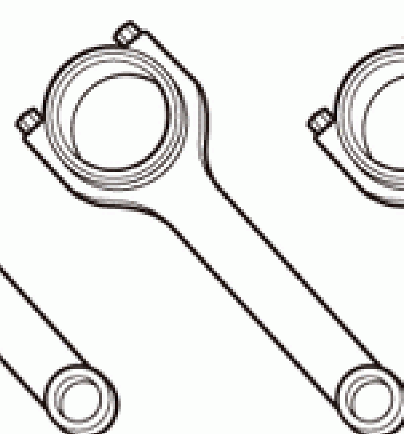

## Reducir el peso

Las piezas del motor que se mueven a gran velocidad se accionan por inercia, lo que genera pérdida de fricción y reduce la potencia. Esto se puede aplacar eliminando material de las piezas para hacerlas más livianas. Normalmente esto se realiza junto con el balanceo, pero si las piezas se pulen hasta quedar demasiado delgadas, se pueden producir problemas relacionados con la durabilidad.

## Refuerzo

Cuando se lleva a cabo un trabajo de modificación mayor en un motor, la tensión que cada pieza recibe aumenta enormemente y existe un mayor riesgo de que estas se dañen. Esto hace que resulte esencial utilizar piezas más fuertes, aunque también es esencial que estas sean livianas. Las piezas reforzadas para las que se utilizan nuevas técnicas de forja (además de nuevos materiales, como aleaciones de titanio), ofrecen una combinación de ligereza, fuerza y durabilidad que las hace ampliamente superiores a las piezas de los motores regulares. En el automovilismo y en la modificación de motores, el empleo de pistones de aluminio forjado y bielas de aleación de titanio se ha convertido en una práctica estándar.



# Cómo liberar todo el potencial de un auto

# Aumentar las R. P. M.

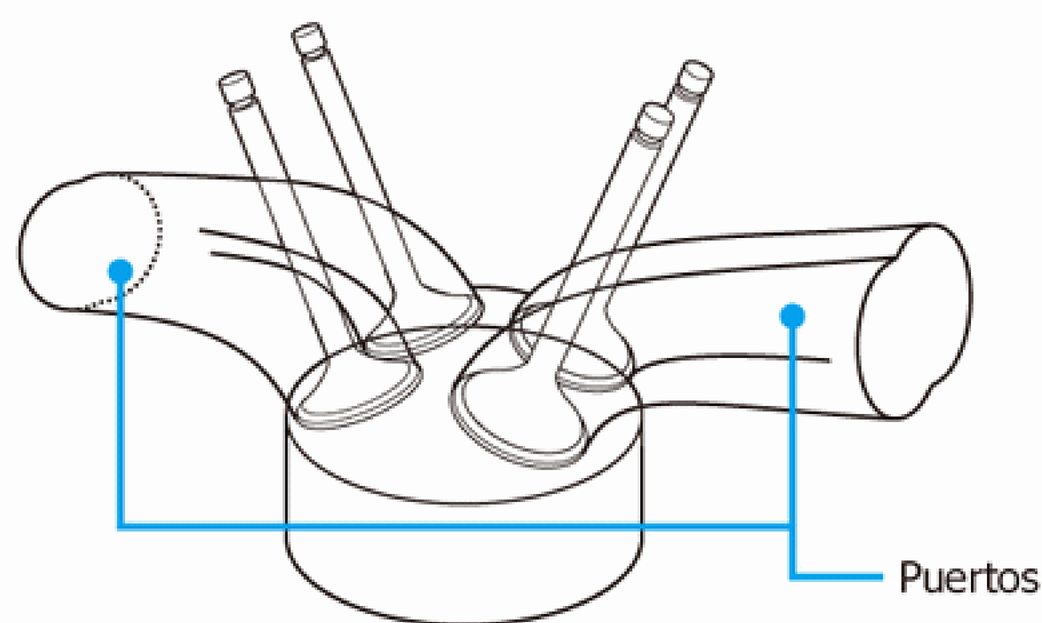
La potencia del motor es una combinación de par motor y revoluciones (potencia = par motor x R. P. M.). Esto significa que si se aumenta la capacidad del motor para desarrollar R. P. M. altas aumentará su posible potencia. La modificación necesaria para hacer esto posible se centra en las culatas de los cilindros y la clave del éxito se encuentra en aumentar la eficiencia de la toma y el escape a altas revoluciones. La manera estándar de alcanzar esto es reemplazar el árbol de levas común por uno de gran desnivel. Aunque esto significa que los componentes que rodean las válvulas se deben reforzar, se obtiene el mismo efecto que al aumentar el tamaño de los puertos de la toma y el escape, lo que mejora considerablemente la potencia a altas revoluciones. Casualmente, los motores más preparados para altas r. p. m. son los motores de carrera corta, ya que la eficacia del flujo de aire de estos es alta, pero la velocidad de sus pistones no es tan alta como la de aquellos de los motores de carrera larga.



Se puede aumentar la capacidad del motor para alcanzar R. P. M. altas y generar potencia elevada en una carrera mediante un cambio a un árbol de levas de gran desnivel. Sin embargo, esto reducirá enormemente el par motor a revoluciones bajas e intermedias, lo que significa que algunos motores preparados puramente para carreras posiblemente no puedan siquiera marchar en vacío adecuadamente.

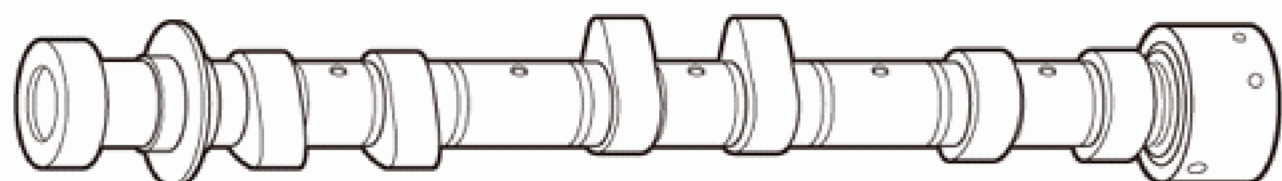
## Puertos

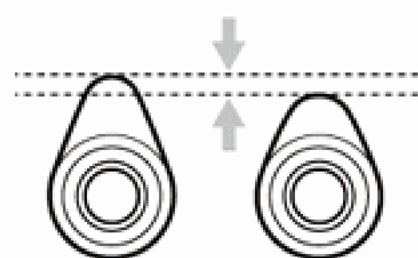
Los puertos de la toma y el escape permiten que la mezcla combustible y aire ingrese en el motor, y que los gases residuales salgan después de la combustión. Idealmente, el flujo que circula por los puertos debe ser lo más uniforme posible, pero por cuestiones de costos, esto generalmente no sucede con el motor promedio. Las superficies irregulares características de los metales fundidos, el tamaño de los pasajes, la deformación, etc., son causas de resistencia de admisión y escape. Se puede lograr un flujo de aire más uniforme puliendo estas superficies hasta que tengan el brillo de un espejo. Puliendo únicamente el puerto, la sensación que transmite el motor mejorará en el rango alto de r. p. m., pero es poco probable que percibas el beneficio total a menos que lo complementes con una modificación completa de la culata de cilindro, sumada a su pulido y al reemplazo de los árboles de levas.




## Árbol de levas

El árbol de levas es el eje que abre y cierra las válvulas de la toma y el escape. Un árbol de levas de gran desnivel tiene secciones de levas más altas a lo largo, lo que hace que las válvulas permanezcan abiertas durante más tiempo. Efectivamente, esto proporciona el mismo beneficio que aumentar el tamaño de los puertos y, aunque reduce el par motor a revoluciones bajas e intermedias, aumenta la potencia del motor radicalmente a revoluciones más altas. Mientras que la sobrecarga repentina de potencia a altas r. p. m. sin dudas hace que el auto sea más difícil de controlar, es una técnica que a menudo se utiliza cuando se intenta obtener potencia adicional de un motor atmosférico.





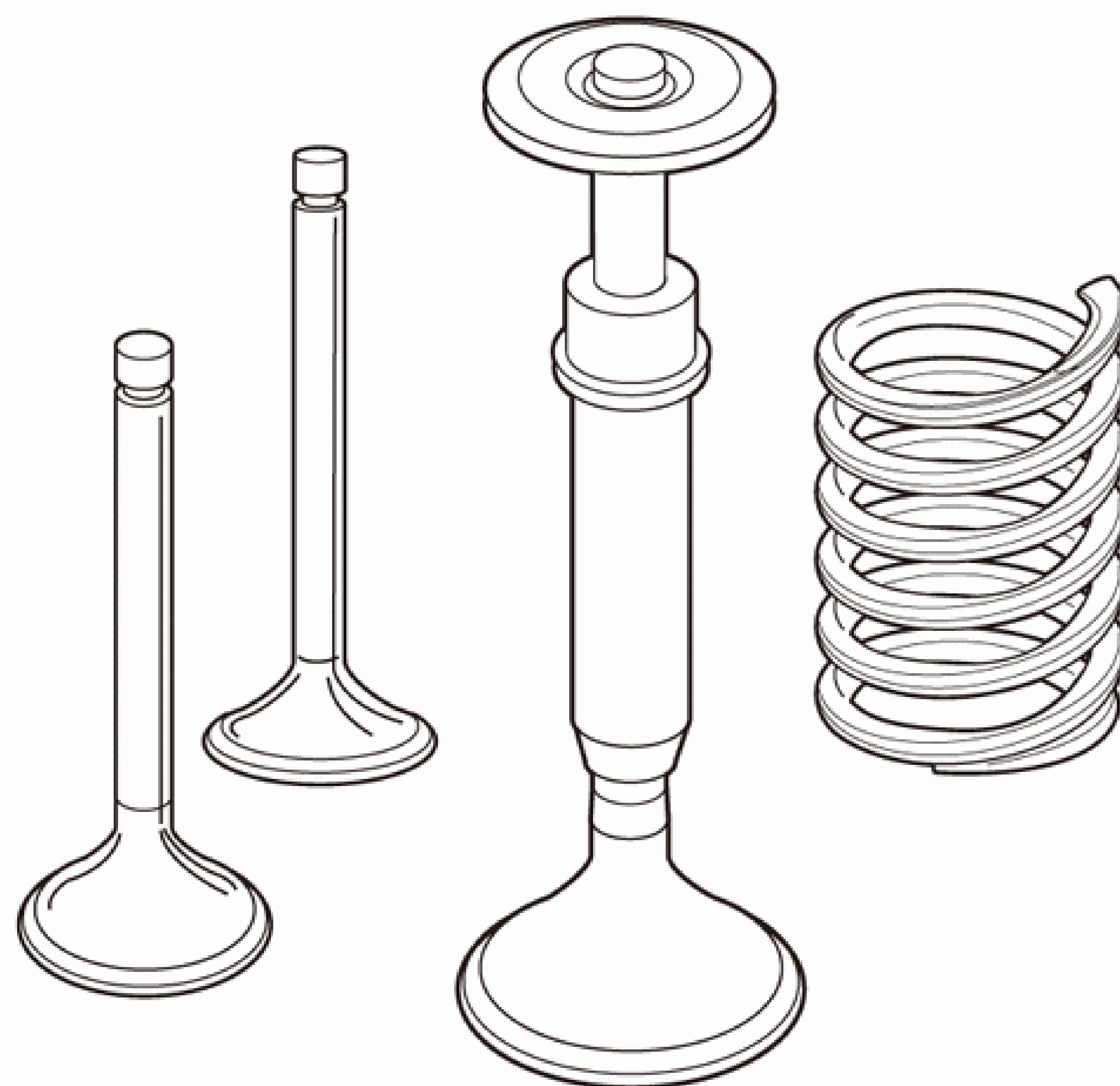
Un árbol de levas normal a la derecha y uno de gran desnivel a la izquierda. Las secciones más elevadas hacen que las válvulas permanezcan abiertas durante más tiempo.

## Válvulas

Además del pulido de los puertos y del reemplazo de los árboles de levas, se debe considerar el aumento del tamaño de las válvulas. Este es un método de modificación que agranda la apertura de la válvula de admisión para permitir más inducción y para mejorar la eficacia de admisión. Debido a que las válvulas más grandes pesan más y se ven afectadas por el aumento de la inercia, a menudo están hechas de titanio ultraliviano.

## Muelle de válvula

Cuando las revoluciones del motor son altas, los resortes que mantienen cerradas las válvulas pueden vibrar, lo que puede generar "inestabilidad", fenómeno por el que la expansión y la contracción de los resortes no pueden seguir el ritmo del movimiento del árbol de levas. En un motor que se ha modificado para brindar una mayor potencia, es importante mejorar los muelles de las válvulas para evitar esto. La necesidad es aún mayor cuando se coloca un árbol de levas de gran desnivel, ya que probablemente los muelles normales no puedan lidiar con el aumento del empuje ascendente de las válvulas y, en casos extremos, los muelles se pueden adherir a las levas y hacer que se bloqueen, o bien la válvula y el pistón pueden chocar. No obstante, se debe tener en cuenta que la colocación de muelles fuertes aumenta la resistencia y genera un mayor deterioro en el área que rodea las válvulas.



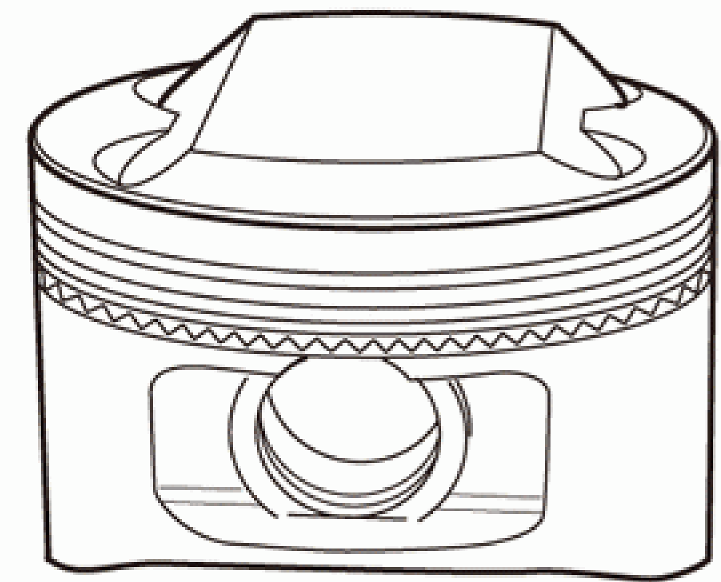
# Aumentar las R. P. M. para mejorar la potencia

# Aumentar la compresión

Cuanto mayor sea el punto hasta el cual el motor pueda comprimir la mezcla de aire y combustible, más poderosa será la combustión que tendrá lugar cuando se encienda el combustible, y mayor la potencia y el par motor que se generarán. La parte principal de esta modificación involucra la renovación del diseño de la capacidad de la cámara de combustión de la culata del cilindro. Sin embargo, si la compresión se eleva demasiado, aumenta la resistencia cuando el motor gira (compresión) y también puede generar una combustión anormal. Los motores de alta compresión requieren varios ajustes para hacer frente a estos problemas, como el ajuste de la cantidad de combustible que ingresa en el cilindro, el cambio a bujías incandescentes "frías" para retrasar la combustión, y el refuerzo de los pistones y las bielas para manejar el aumento de la potencia de combustión del motor.

## Pistones

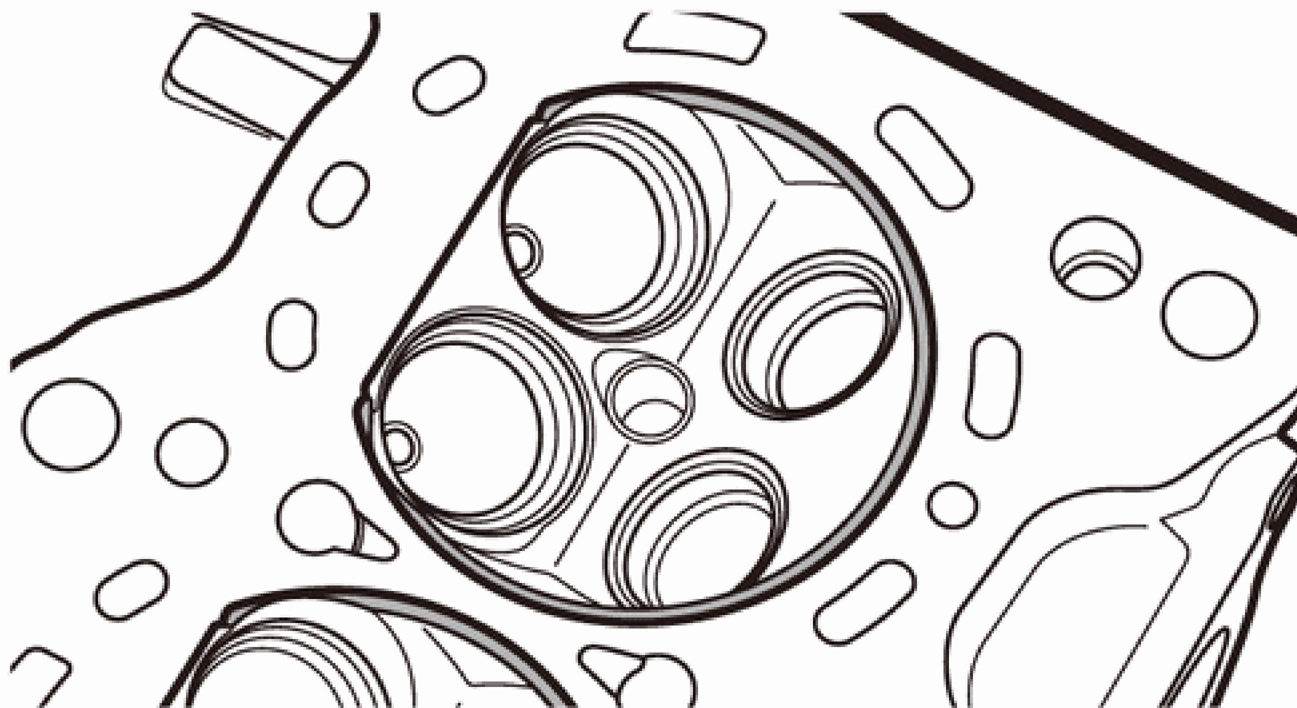
La manera más común de elevar el índice de compresión del motor es realizar un cambio a pistones de alta compresión. Como se puede ver desde la parte más elevada de estos pistones, la cámara de combustión es de hecho más pequeña que la de un pistón regular, lo que da como resultado un aumento en el índice de compresión. Sin embargo, el aumento en la compresión genera una mezcla más caliente de combustible y aire, y temperaturas más altas durante la combustión, lo que hace que aumente la probabilidad de que se produzca "golpeteo" (combustión incorrecta de la mezcla de combustible y aire). Esto hace necesario tomar medidas como el mejoramiento del flujo de mezcla de aire y combustible.



El aumento de compresión idealmente debería llevarse a cabo en conjunto con el aumento de las R. P. M. potenciales del motor. A su vez, puesto que el combustible involucrará más fuerza, el interior del motor se debe reforzar.

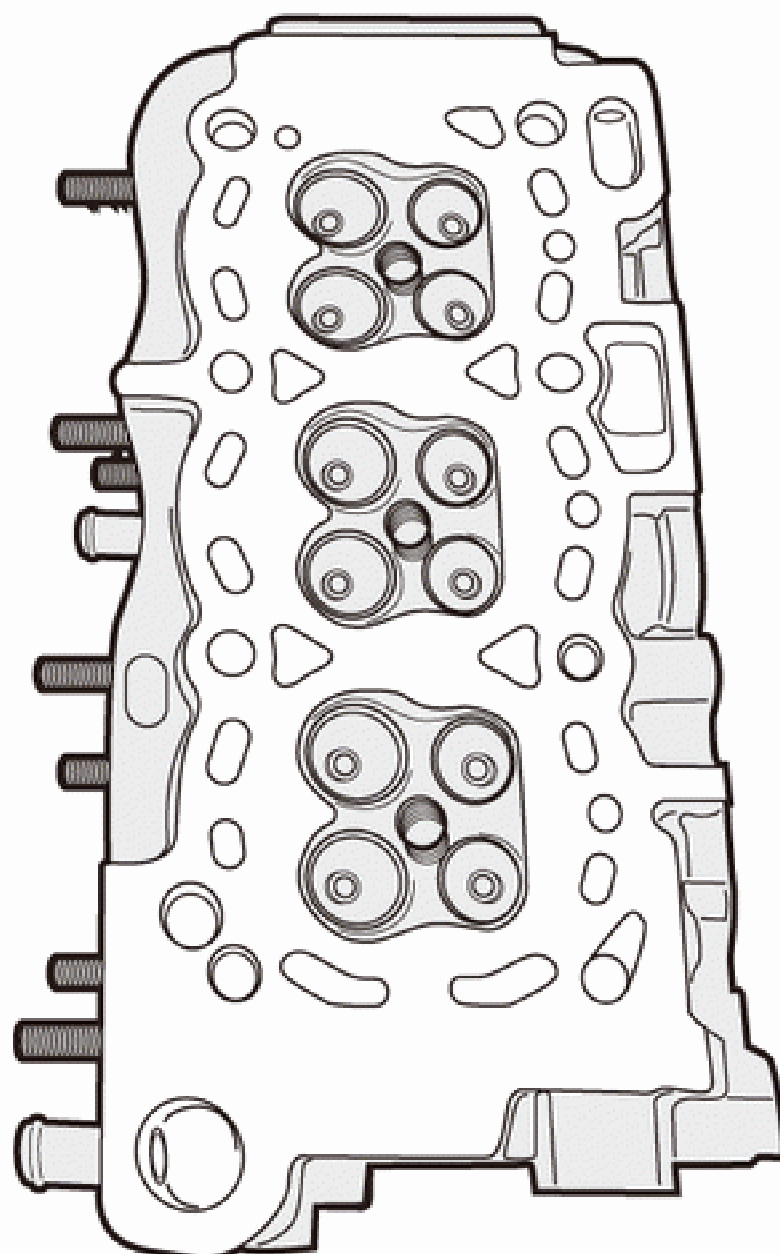
## Cámara de combustión

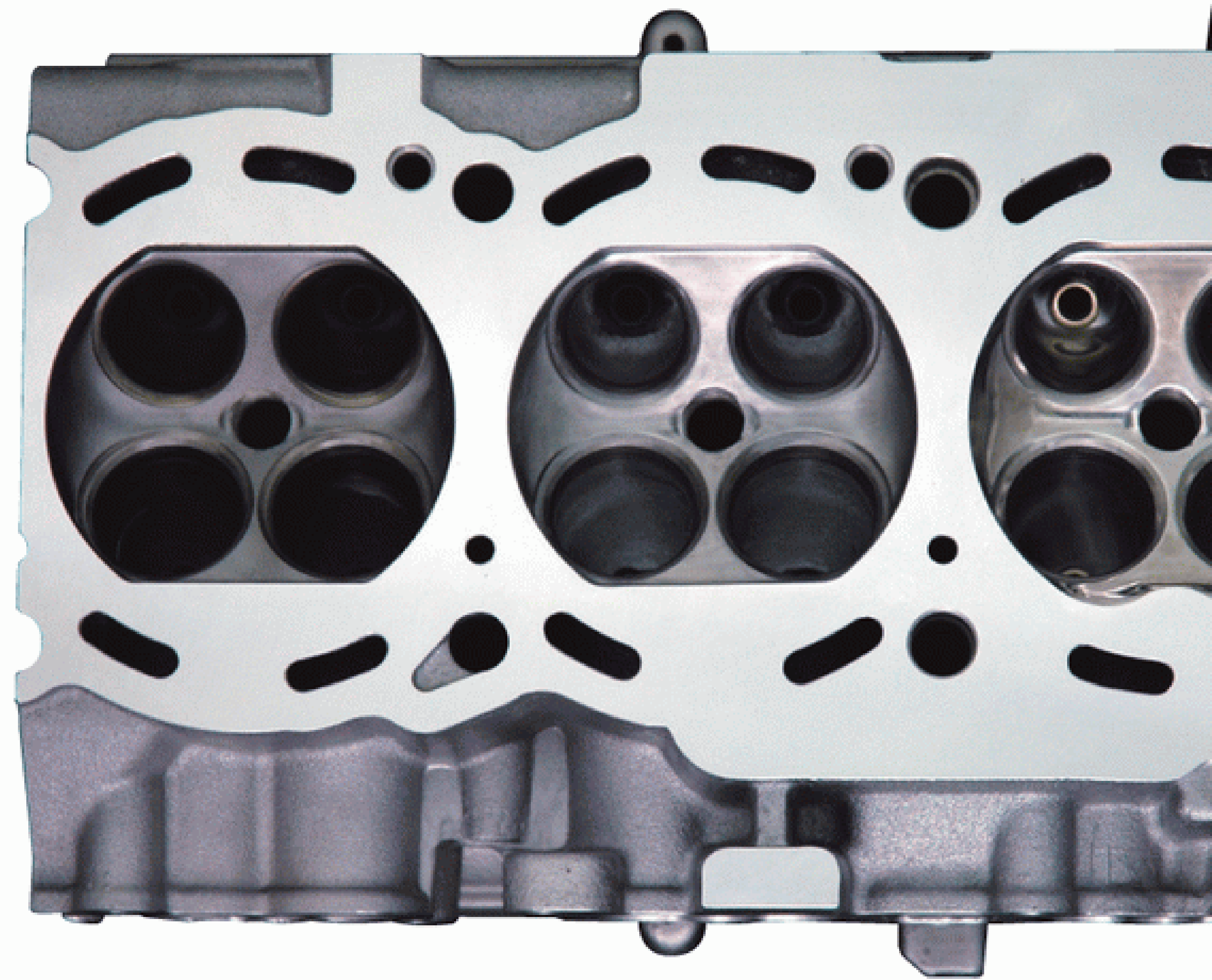
Existen varias técnicas de modificación de cámaras de combustión; una de las principales es el diseño de tipo "de techo inclinado", superior en flujo de aire y eficacia de encendido. Sin embargo, el método más común para evitar el golpeteo debido a la alta compresión involucra el uso de zonas de "remolino" o "enfriamiento". Estas son áreas separadas de la cámara de combustión en las que se concentra la compresión, de modo que sirven para reducir el índice de compresión general. Sin embargo, la creación de áreas de remolinos puede generar discrepancias en los volúmenes de las cámaras individuales de combustión, de modo que posteriormente es necesario realizar una medición precisa de la cámara de combustión para asegurarse de que estén equilibrados.



## Culata de cilindro

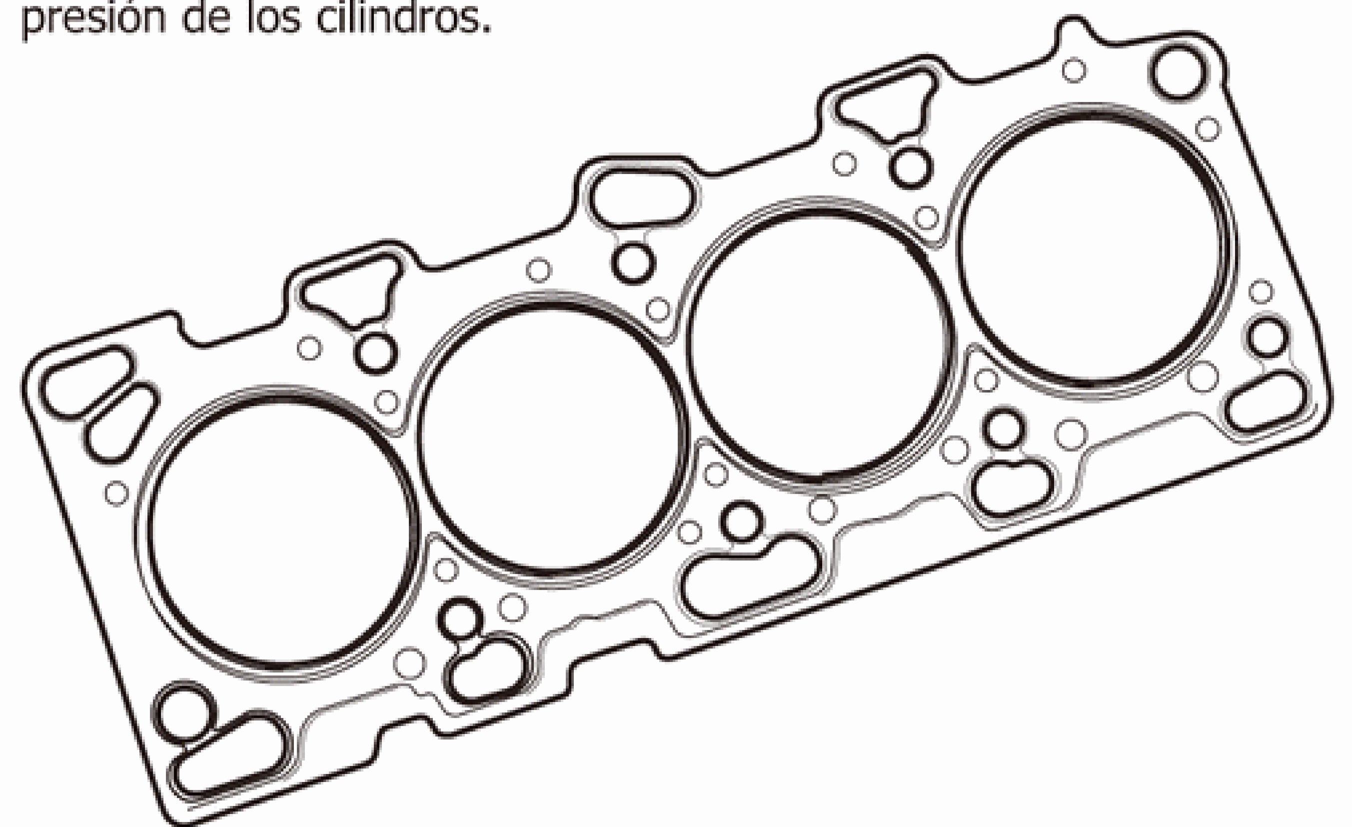
El lado inferior de la culata de un cilindro puede rebajar en incrementos de 0,1 mm para reducir gradualmente la capacidad de la cámara de combustión y aumentar así el índice de compresión. Esto también se puede realizar para corregir cualquier deformación que se pueda haber producido durante el funcionamiento a temperaturas extremadamente altas, la restauración del calce entre el bloque de cilindros y la culata, y la corrección de cualquier problema de pérdida de compresión.



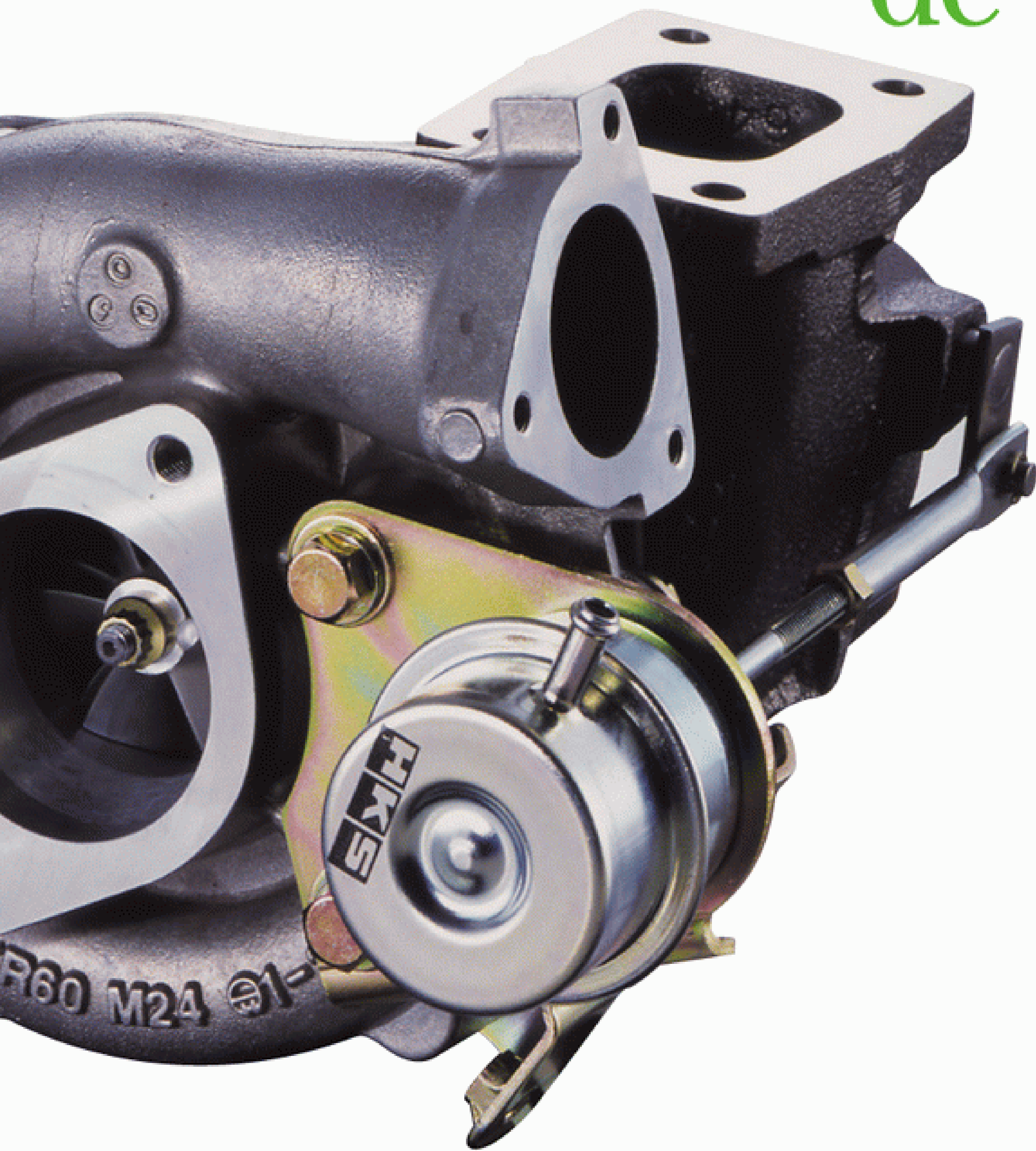


## Junta de culata

La junta de culata es la placa que se asienta entre el bloque de cilindros y la culata, y garantiza un buen sellado entre ambos además de prevenir la pérdida de compresión. La reducción del espesor de la junta de culata tiene el mismo efecto que pulir la culata de un cilindro en cuanto a que sirve para reducir la capacidad de la cámara de combustión y aumentar así el índice de compresión. En general, las juntas de culata actualmente se confeccionan con acero inoxidable, ya que tiene alta resistencia y ostenta altos niveles de conductividad térmica. Esto permite la optimización de los niveles de compresión y evita la pérdida de presión de los cilindros.



# Obtener grandes cantidades de aire comprimido




## Presión de carga

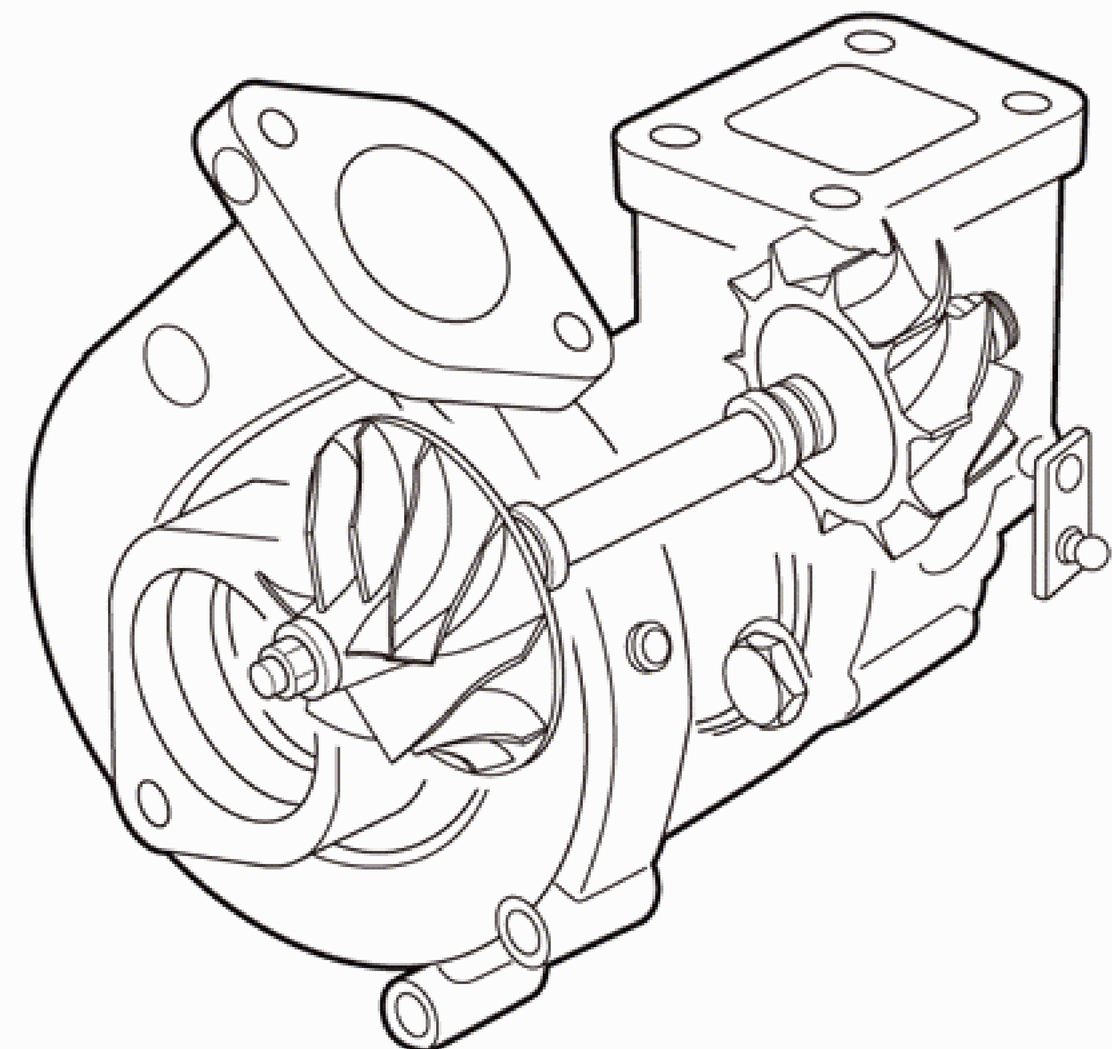
La presión de carga es una cifra que indica el volumen de aire que admite un turbocompresor y la compresión a la que lo somete, y se expresa en las unidades de $kg/cm^2$, kPa o psi. Cuanto más alta es esta cifra, más potencia se suma. Sin embargo, cuanto más aire ingresa, más combustible se necesita para la mezcla, lo que significa que la ECU se debe configurar para agregar más combustible, y probablemente sea necesario cambiar o agregar inyectores de combustible para que se pueda suministrar combustible en cantidades más grandes. También resulta esencial reforzar las piezas internas del motor para lidiar con la tensión que ocasiona el aumento de combustión.

## Turbina de alto flujo

Se trata de un turbocompresor en el que el tamaño de la rueda del compresor que comprime el aire que admite el dispositivo aumenta enormemente, lo que aumenta el flujo de aire. Un proceso conocido como "recorte" se puede utilizar para reducir la inercia que actúa sobre la rueda de la turbina, lo que permite que el aumento se aplique con mayor rapidez. Esto permite aumentar la potencia con un sacrificio de respuesta mínimo.

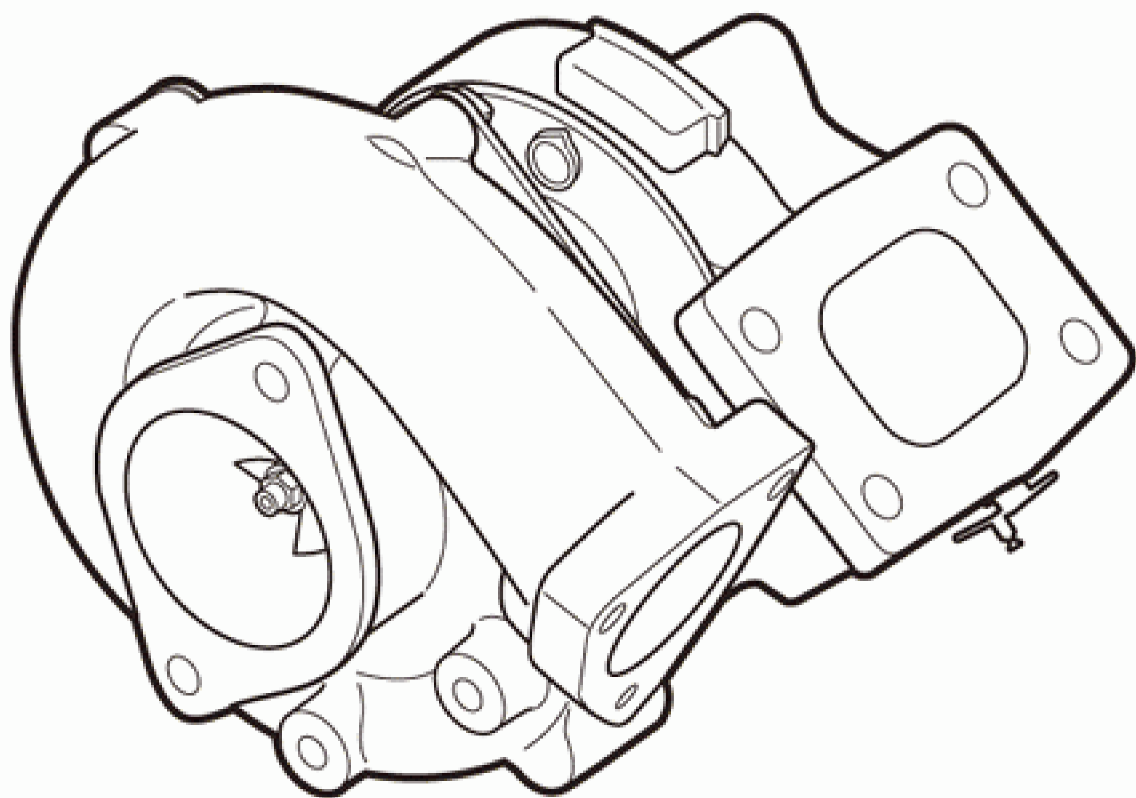
## Dispositivos de admisión forzada

Aumentar la presión de carga o el tamaño del dispositivo de admisión forzada es una manera relativamente sencilla de alcanzar el mismo efecto que al aumentar la cilindrada del motor sin tener que modificarlo. Si se elige combinar esto con modificaciones mecánicas, se pueden obtener incluso mejores resultados. Sin embargo, es importante recordar que la admisión forzada aumenta la tensión del motor mucho más que en los motores atmosféricos, y se deben tomar medidas para considerar esto. En un motor atmosférico, un índice de compresión alto es la clave para potenciar el motor, pero en un motor sobrealimentado o con turbo, la compresión de hecho se debe reducir para evitar la combustión anormal o daños en las piezas debido al aumento de la combustión. Un retardo en la respuesta es también un problema para los motores turbo y se debe medir para que la respuesta del motor no se vea afectada de modo crítico.



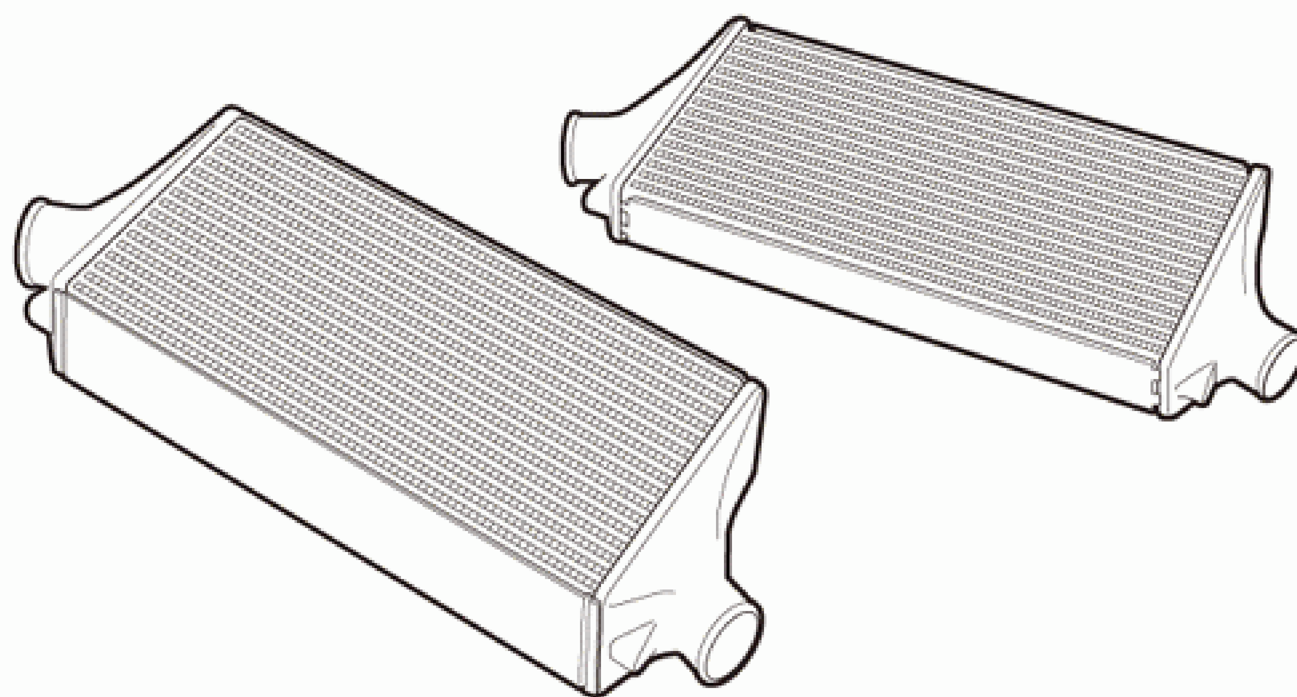
## Aumentar el tamaño de las turbinas

Esto involucra el reemplazo del turbocompresor regular por uno más grande, ya que el tamaño del turbocompresor es lo que determina los límites de la potencia de una turbina. Aunque esto signifique un aumento marcado en la potencia, presenta una desventaja en cuanto a que girar una turbina más grande genera una respuesta más lenta del motor. Es necesario saber que a menos que se cuente con un motor de gran cilindrada que genere una gran cantidad de gases de escape o un motor suficientemente potente, el par motor a bajas revoluciones será muy bajo y el turbocompresor solo será eficaz a altas R. P. M., lo que hará que el auto sea extremadamente difícil de controlar.



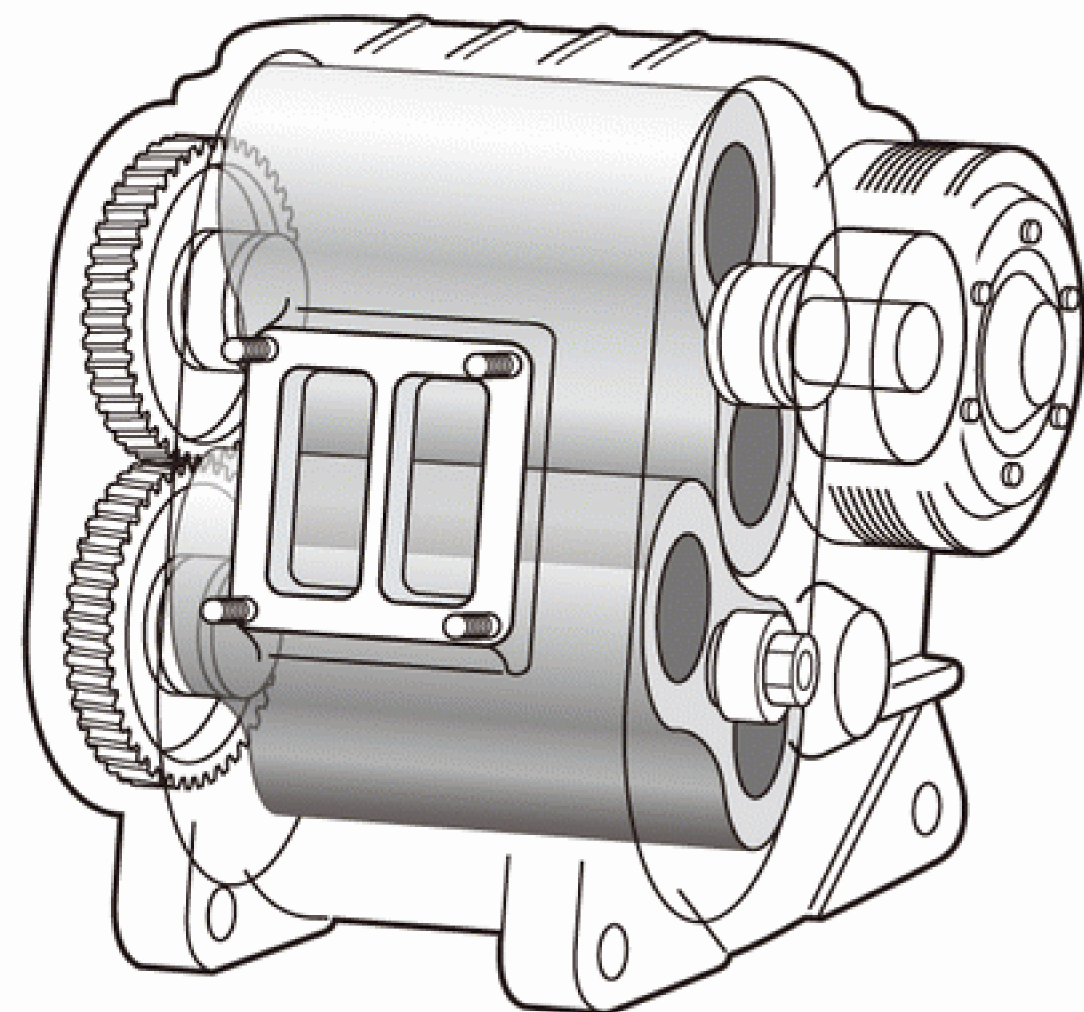
## Intercooler

El intercooler desempeña un papel importante en un motor turbo, al tener la función de enfriar el aire calentado por la compresión del turbocompresor y mejorar la eficiencia volumétrica del motor. Los intercoolers se instalan como parte del equipamiento estándar incluso en muchos vehículos de producción masiva, pero el aumento de su tamaño potencia su efectividad y amplía su capacidad de enfriamiento. Sin embargo, el aire comprimido demora mucho tiempo en recorrer un intercooler demasiado grande y comienza a perder presión. Esto puede causar una pérdida de hasta 10-20 % de presión de carga en algunos casos.



## Sobrealimentador

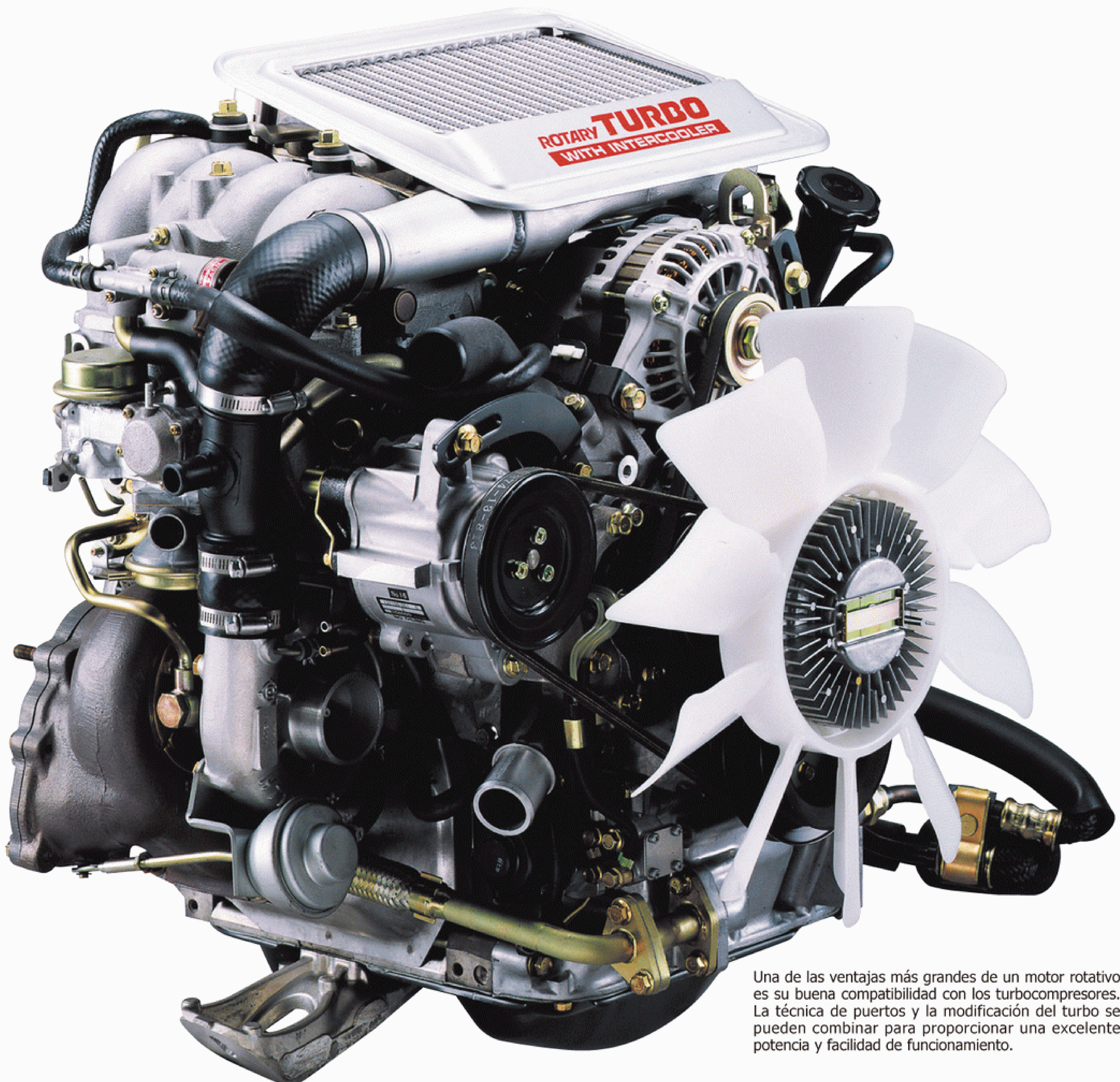
El principio rector del sobrealimentador es similar al del turbocompresor: en esencia, fuerza el ingreso de aire en el motor y aumenta así la potencia de este. Como sucede con los turbocompresores, se pueden fijar con pernos en motores atmosféricos, lo que los convierte en una opción relativamente sencilla para aumentar la potencia. Debido a que los sobrealimentadores no generan un retardo en la respuesta del acelerador, resulta particularmente útil en circuitos de carreras técnicos en los que se necesita una respuesta rápida.





# Motores rotativos

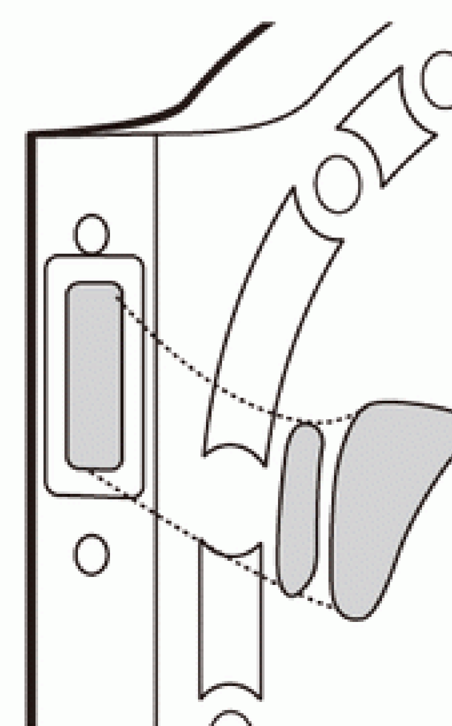
Uno de los principales objetivos cuando se modifica un motor rotativo es aumentar la eficiencia de la toma de aire. Esto se logra agrandando los puertos de entrada; de esta manera la cámara de combustión recibe más mezcla de aire y combustible. Este efecto es similar al que se obtiene al instalar un árbol de levas de gran desnivel a un motor alternativo, pero la naturaleza del aumento de potencia obtenido mediante el cambio de ubicación y el agrandamiento de los puertos puede ser muy diferente. Por ejemplo, la de puertos periféricos, una técnica utilizada en autos de competición con motores rotativos, causa una pérdida de par motor extrema a bajas revoluciones, y hace extremadamente difícil la conducción normal. A su vez, en un motor rotativo los puertos de escape y el turbocompresor se encuentran muy cerca, lo que permite que los gases de escape hagan girar la turbina con extremada eficiencia. Al combinar la técnica de puertos y la modificación del turbo, el potencial de este motor se puede mejorar de manera efectiva.




Una de las ventajas más grandes de un motor rotativo es su buena compatibilidad con los turbocompresores. La técnica de puertos y la modificación del turbo se pueden combinar para proporcionar una excelente potencia y facilidad de funcionamiento.

# Técnica de puertos: la clave para mejorar la potencia rotativa

## Técnica de puertos de puente



Se trata de un método para modificar el puerto lateral. Se denomina "técnica puertos de puente" porque la forma del puerto agrandado incluye una sección "puenteada" en el medio.

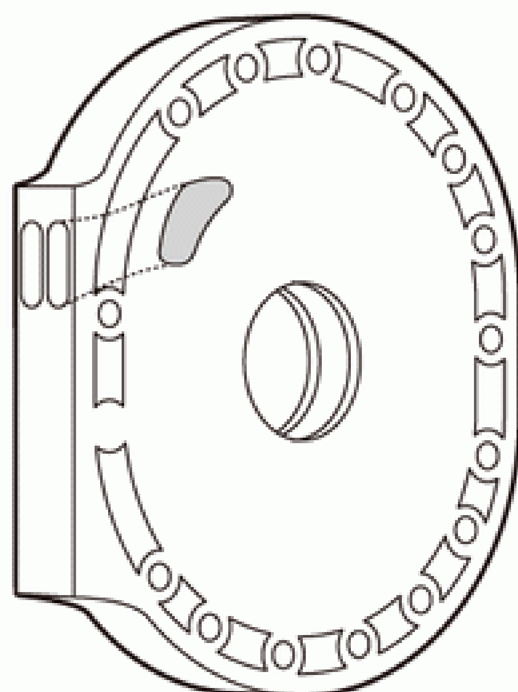
La razón por la que se tiende este puente entre las dos aberturas, en lugar de utilizar solo una gran abertura, es que cuando se agranda el puerto hasta sus límites es necesario dejar este puente para soportar el sello de ápice a fin de que no se deforme ni se desprenda al pasar por esta sección.

## Balanceo

En comparación con la de un motor recíproco, la estructura de un motor rotativo es simple y tiene menos componentes. Se puede liberar muchísimo potencial adicional simplemente con mejorar la precisión de cada una de estas piezas y volver a ensamblar con cuidado el motor. La parte más importante de este proceso es la fijación de los sellos. Los sellos de las esquinas de los rotores corresponden a los aros de los pistones en un motor recíproco y, si se pueden acomodar de modo que todos tengan exactamente el mismo despejo, el rotor girará con increíble suavidad y, al mismo tiempo, conservará el nivel ideal de compresión. Si los sellos se colocan de un modo deficiente, se puede producir una pérdida de potencia y, en los peores casos, el agarrotamiento del motor.

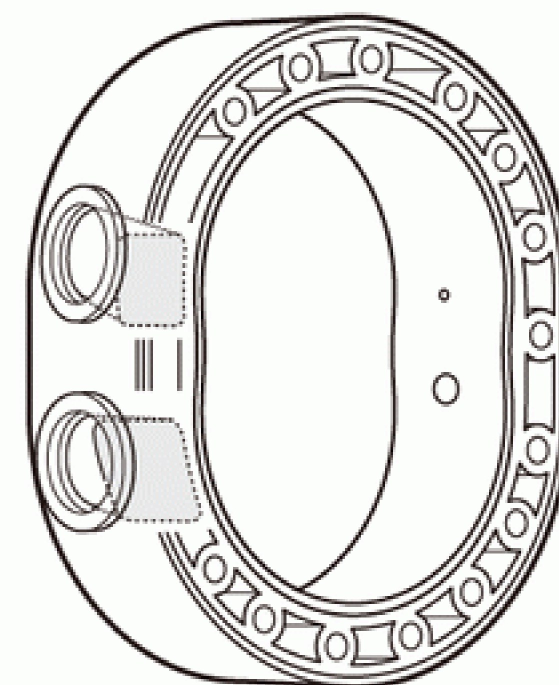
## Técnica de puertos laterales

Al ensanchar el diámetro de los puertos de entrada ubicados en la caja lateral del motor, el aire puede ingresar en el motor a una velocidad mayor que la usual, lo que puede aumentar el volumen total de entrada y mejorar la potencia. Esto ofrece beneficios similares a los de colocar un motor recíproco con un árbol de levas de gran desnivel.



## Técnica de puertos periféricos

Este es un método por el que se modifica un motor rotativo con un adhesivo especial para llenar los puertos de entrada ubicados en la caja lateral, los que se cambian a la parte más alta de la caja del rotor. La ventaja de esto es que la mezcla de aire y combustible se entrega directamente a la caja del rotor, lo que aumenta considerablemente la potencia del motor a altas revoluciones. Desafortunadamente, también significa que el motor no podrá mantener el par motor a bajas revoluciones debido a la pérdida de la capacidad para diferenciar las velocidades altas y bajas, y ajustar la mezcla de aire y combustible en forma correspondiente. Esto significa que el aumento en el rendimiento a altas r. p. m. tiene como precio una gran pérdida de par motor a bajas revoluciones y da lugar a características de potencia extremas que serán difíciles de controlar.



## Técnica de puertos de combinación

También conocida como "técnica de puertos cruzados"; en ella se combinan la técnica de puertos laterales (o técnica de puertos de puente) y la de puertos periféricos. Aprovecha ambos tipos de técnicas de puertos empleando un sistema secuencial para activar los puertos laterales únicamente a revoluciones bajas y los puertos periféricos a revoluciones altas.

# Modificación del tren de transmisión

**El tren de transmisión del vehículo convierte la potencia del motor en velocidad. Debe tener la mayor eficiencia posible para transmitir dicha potencia a la superficie del camino y ser suficientemente robusto para manejar con facilidad la potencia elevada.**

# Obtener el mejor rendimiento de un motor

## Relación final de las marchas

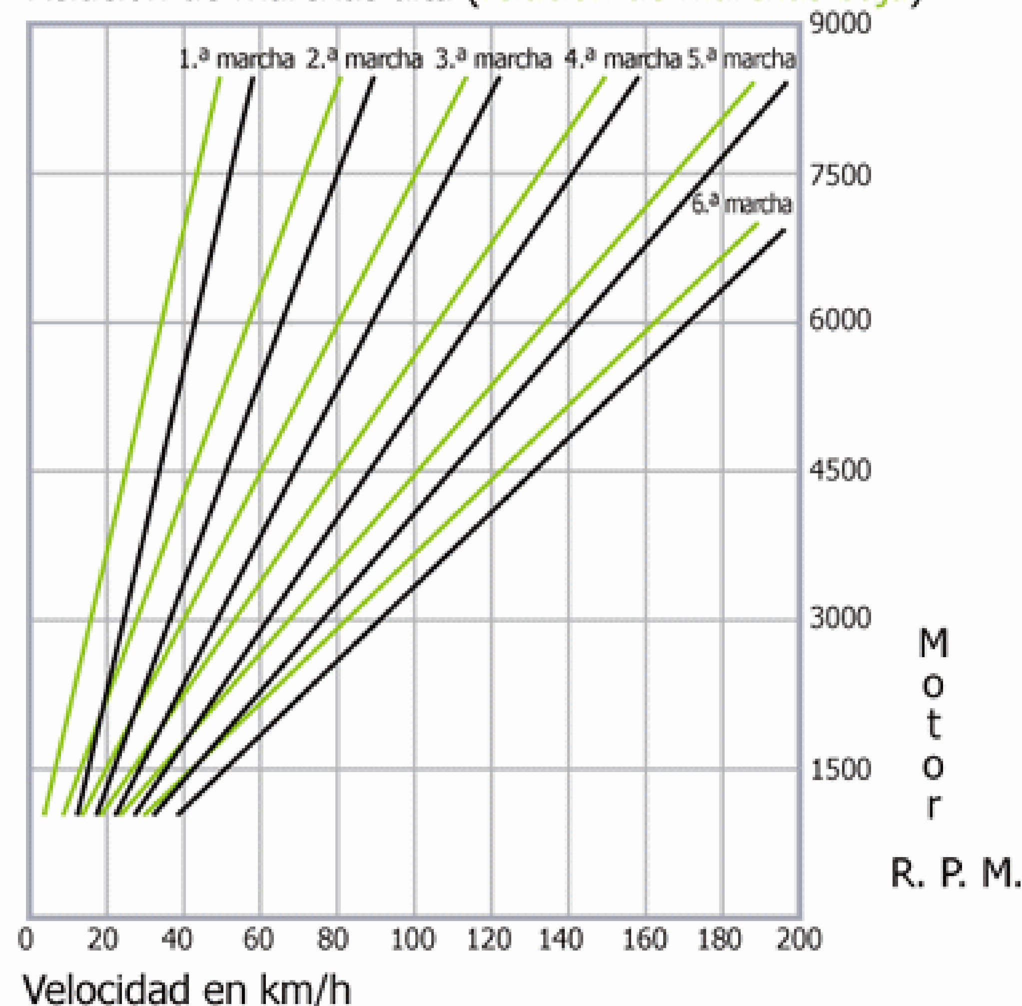
La alteración de la relación final de las marchas te permitirá elegir entre aplicar al motor velocidad final o aceleración. Por ejemplo, en un motor de altas revoluciones y gran potencia con una diferencia extrema de bajas a altas r. p. m., puedes facilitar su rendimiento al configurar una menor relación final. Esto puede mejorar sustancialmente la aceleración del auto.

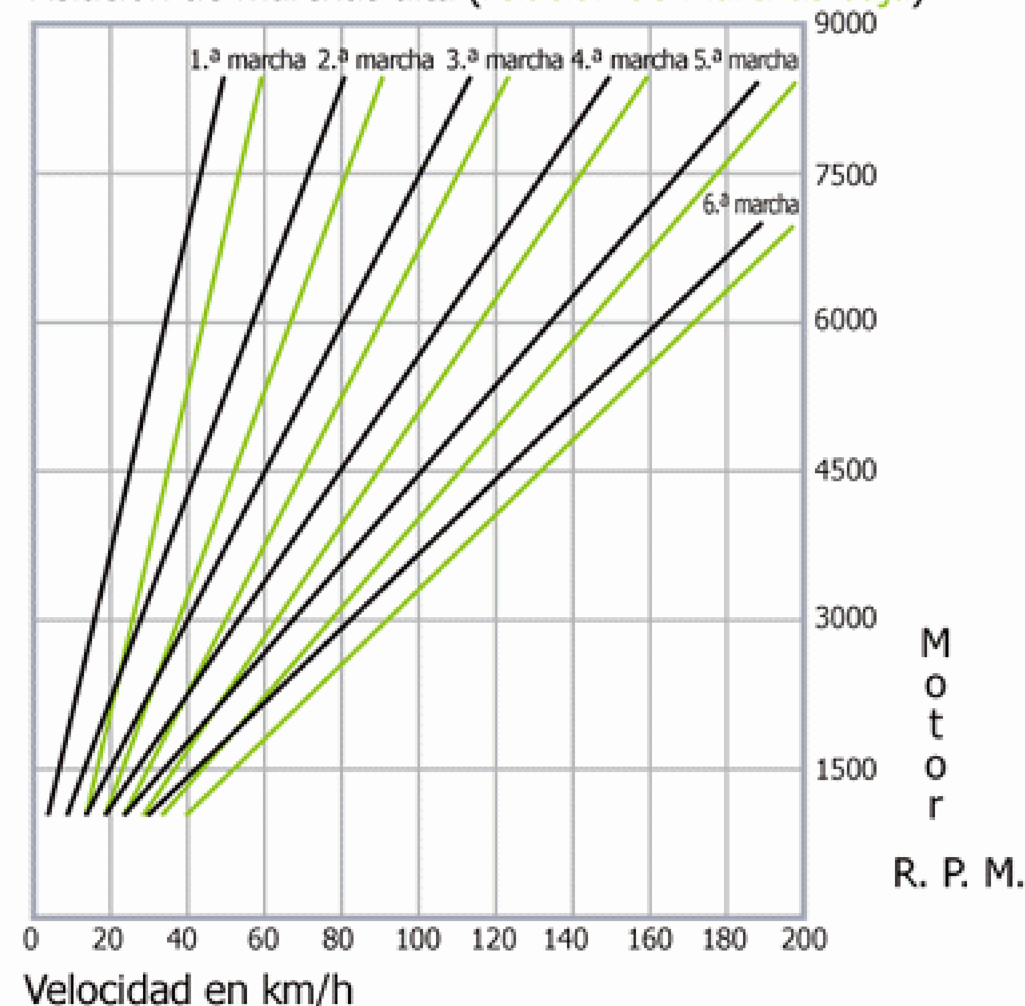
### Relación de marchas altas

Esta es una buena clase de modificación si el objetivo es aumentar la velocidad máxima del auto, ya que aumenta la velocidad máxima a bajas revoluciones. También tiene ventajas considerables en cuanto al consumo de combustible. La desventaja es que el motor tarda más en alcanzar la banda de potencia y par motor, lo que hace más lenta la aceleración. Puede ser difícil alcanzar la potencia y el par motor deseados cuando se sale de curvas cerradas y es aún más difícil obtener la aceleración adecuada.

### Relación de marchas bajas

Con una relación de marchas bajas, el motor puede mantener valores de revoluciones altos aun en marchas altas, como la tercera y la cuarta. Aunque se sacrificará velocidad máxima, esto facilita la obtención de potencia y par motor y el aumento de la aceleración. Podrás aprovechar completamente el rendimiento del motor en la aceleración a la salida de las curvas, lo cual hace que las relaciones de marchas bajas sean particularmente adecuadas para circuitos técnicos con muchas curvas cerradas. La única desventaja es la tendencia a que se excedan las revoluciones debido al abrupto aumento en la respuesta del acelerador.





# Relación de marchas de la transmisión

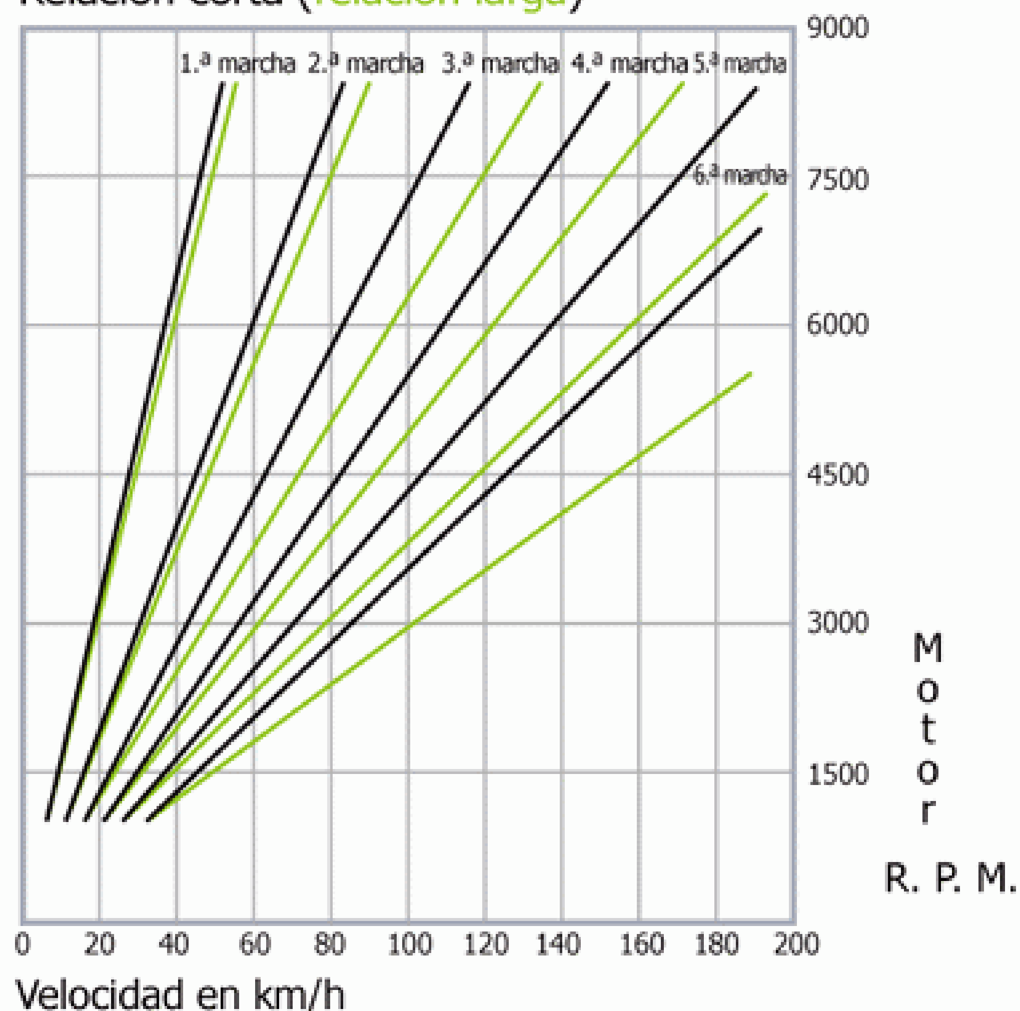
La modificación de la transmisión generalmente implica acortar la relación de las marchas de la transmisión (es decir, hacer que el tamaño de esta sea más similar para crear una "relación corta"). Esto hace más sencilla la permanencia dentro de la banda de potencia y también mejora enormemente el rendimiento de aceleración. Sin embargo, la relación final de las marchas puede hacer que el auto tenga más propensión al exceso de revoluciones, lo que hará que sean necesarios cambios de marchas frecuentes.

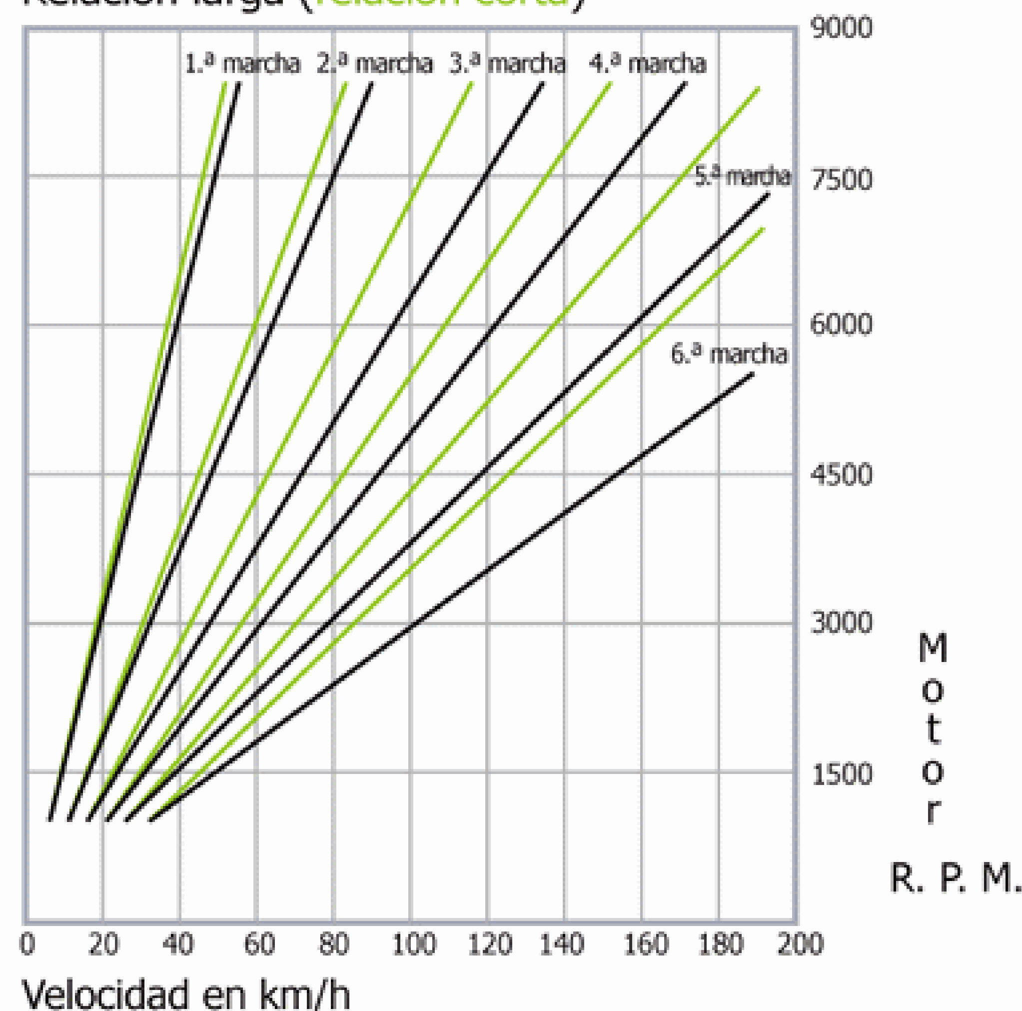
## Relación corta

Una transmisión manual con relación de transmisión corta implica que la diferencia de tamaño entre las marchas es relativamente pequeña. Cuanto más corta es la relación, menor es la pérdida de r. p. m. al cambiar a marchas superiores y mayor la eficiencia con la que se puede utilizar la potencia del motor. Este esquema de marchas es particularmente apropiado para motores atmosféricos con bandas de potencia restringidas mediante el cambio a un cigüeñal de gran desnivel u otras mejoras de puesta a punto. Generalmente, esto se configura según el trazado del circuito, junto con la selección de la relación final de las marchas.

## Relación larga

La mayoría de los autos de fabricación en serie se configuran para brindar una mayor economía de combustible y por ello están pensados para mantener bajas r. p. m. Por este motivo, la diferencia de tamaño de sus marchas es relativamente grande. Desafortunadamente, esto significa que cuando se sube la marcha, la potencia del motor transferida al suelo es pequeña y se sacrifica aceleración. Normalmente, un motor no se configura con una relación larga entre todas las marchas, de la primera a la quinta o la sexta, sino que incluye una combinación de relaciones cortas y largas para que se aprovechen al máximo sus características particulares y se haga frente así a la configuración de la pista. Por ejemplo, se puede utilizar una relación corta para la primera y la segunda marcha, puesto que se emplean para iniciar el movimiento y acelerar, y una relación larga para la tercera marcha y las marchas superiores.

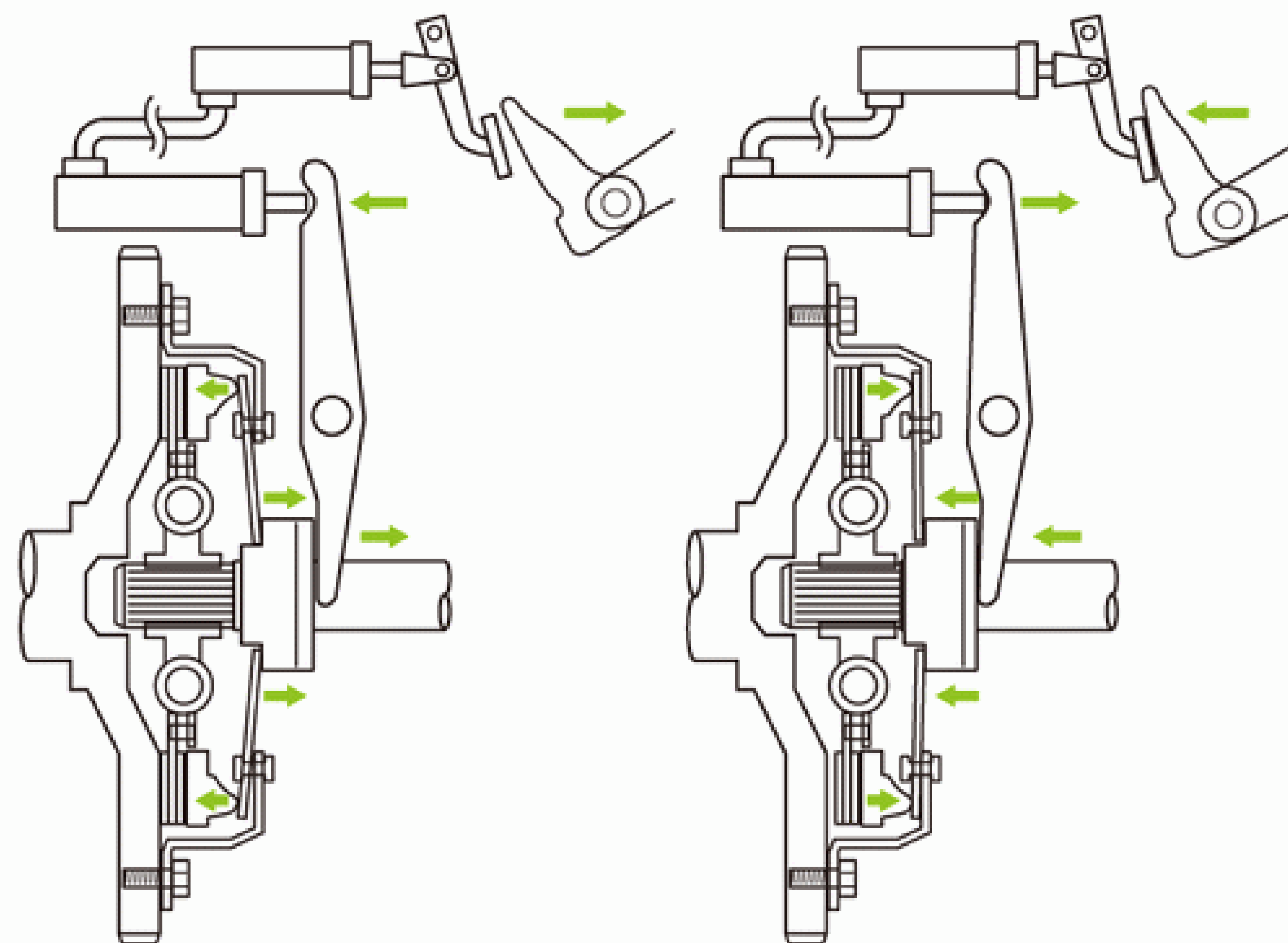


# Limitación de la pérdida de potencia y aumento de la respuesta

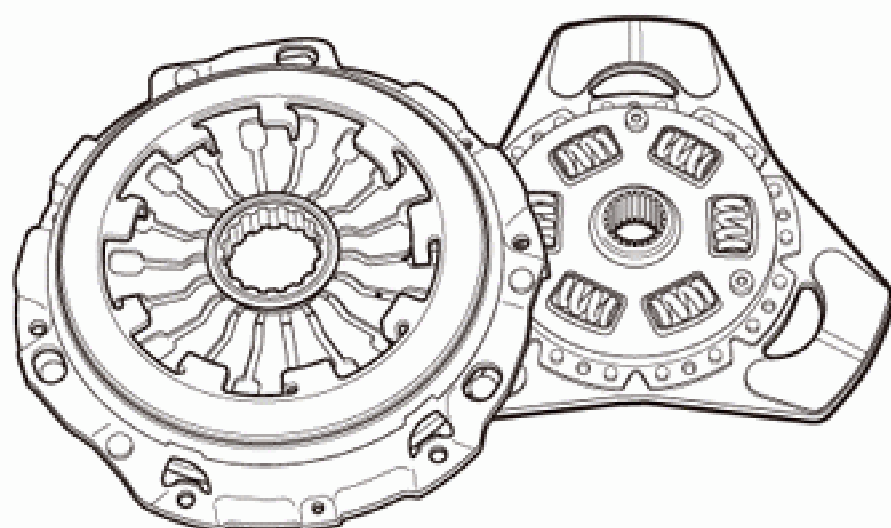
## Embrague

En vehículos con una buena puesta a punto, el refuerzo del embrague es esencial para que la potencia aumentada del motor se pueda transferir a la transmisión con la menor pérdida de potencia y para cambiar las marchas de forma efectiva. Aun el más leve patinaje puede ocasionar la pérdida de rendimiento de aceleración. La idea es aumentar el nivel de fricción del disco de embrague y la presión de la cubierta de embrague en forma proporcional al aumento de potencia y par del motor.



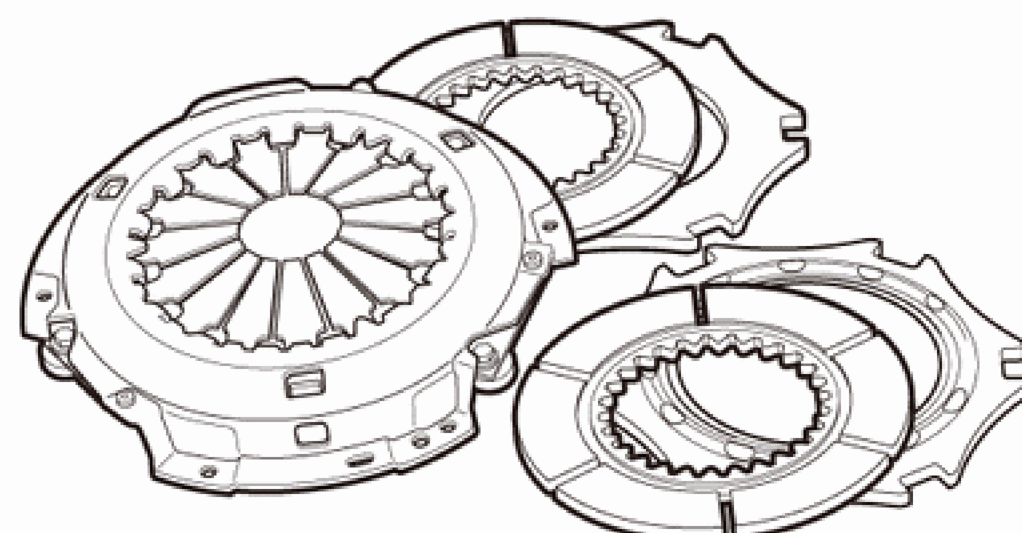
### Disco y cubierta

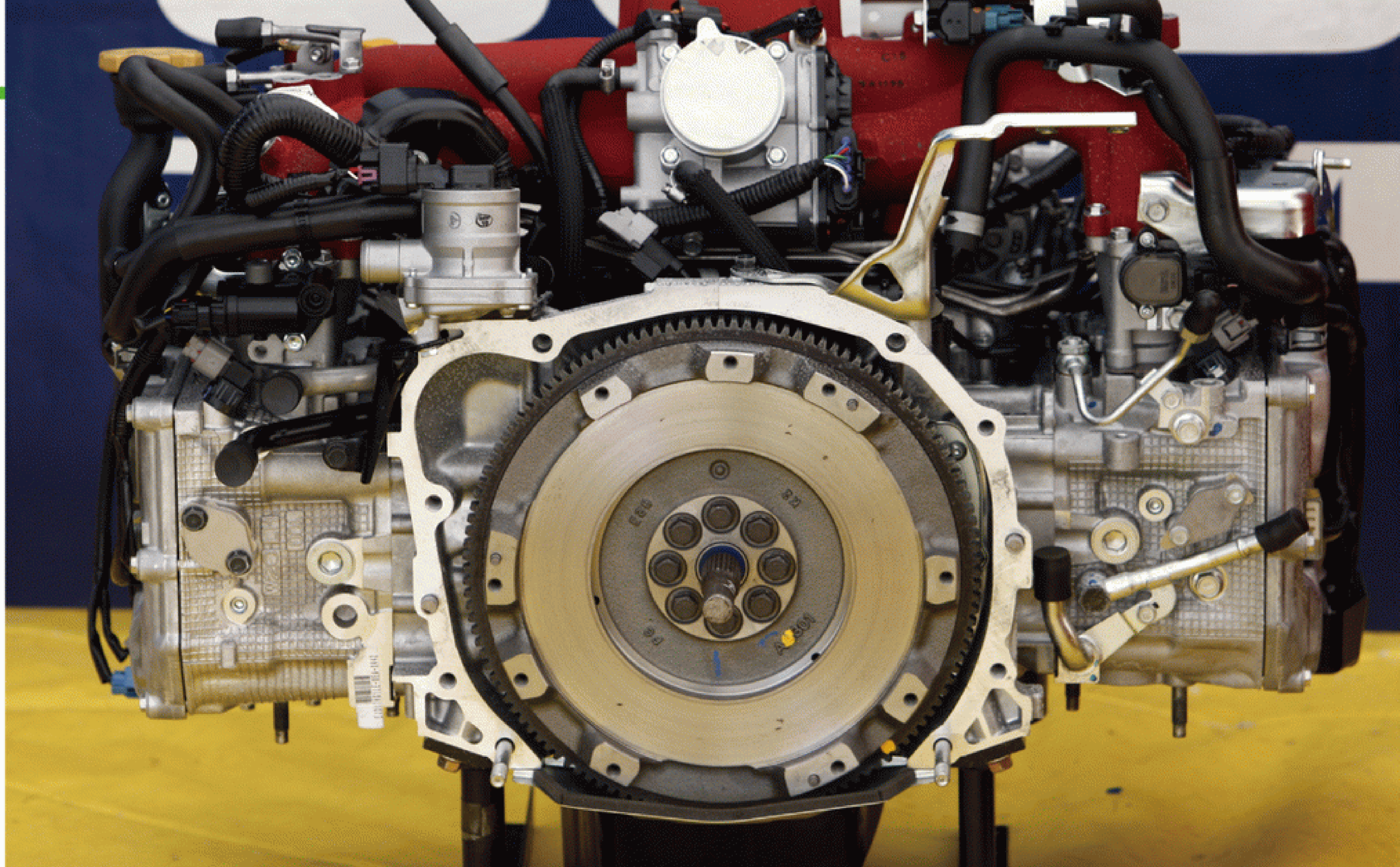
El método de refuerzo de embrague más convencional consiste en reemplazar el disco y la cubierta de embrague existentes por piezas más resistentes. Con un incremento de la fuerza de fricción del disco de embrague y la presión de la cubierta, es posible hacer que la potencia del motor se transfiera de manera más confiable a la transmisión. Estos son componentes fundamentales a la hora de mejorar la potencia del motor y la ventaja que brindan es que su respuesta es inmediata cuando se usan agresivamente en la conducción deportiva. En la actualidad se utilizan generalmente discos de embrague de metal debido a su fricción superior y a su resistencia al desgaste.



### Embragues multiplato

Los embragues regulares solo utilizan un disco de embrague (también conocido como "plato de embrague"), pero la utilización de un embrague con platos múltiples permite aumentar el área que genera de fricción. Los embragues reforzados con cubierta más fuerte y capacidad mejorada para transmitir la potencia del motor utilizan entre dos y cuatro platos. La fricción aumenta en forma proporcional al número de platos de embrague utilizado, por lo que el número de platos más adecuado se puede seleccionar según la magnitud del aumento de la potencia del motor. Si bien la respuesta y la durabilidad aumentan, la desventaja de utilizar embragues multiplato está en su funcionamiento. Requieren más fuerza para el desacoplamiento, lo cual hace que el pedal de embrague sea muy pesado y se requiere mucha precisión para accionarlo.



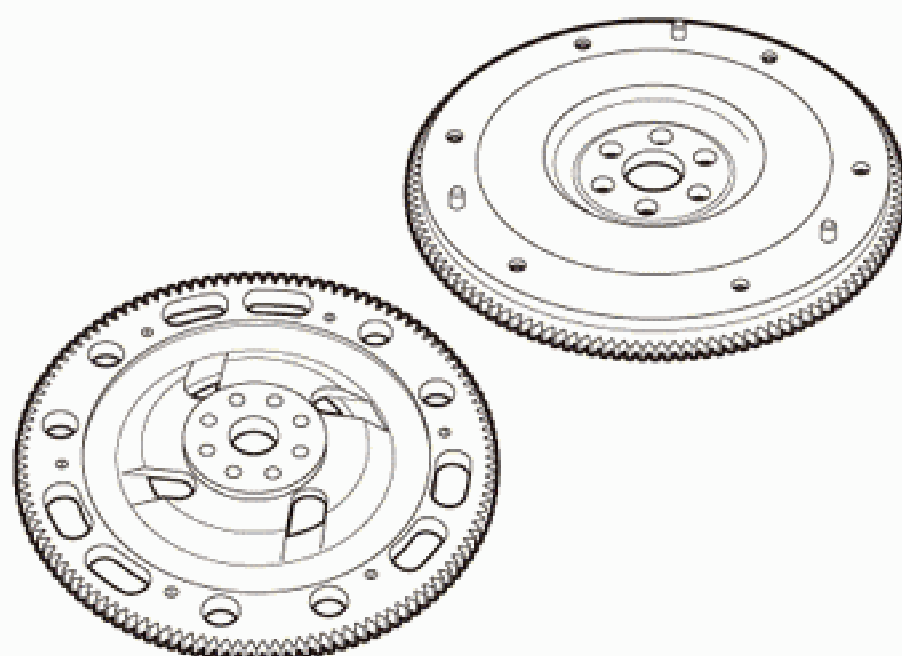


# Volantes motores y árboles de transmisión

Hacer más liviano el tren de transmisión puede ser un método muy eficaz para mejorar la respuesta de aceleración y la aceleración. Sin embargo, un volante motor extremadamente liviano puede hacer que el auto exhiba dificultad para alcanzar niveles de par suficientes al conducir cuesta arriba, por lo que son necesarias modificaciones adicionales para compensar esto.

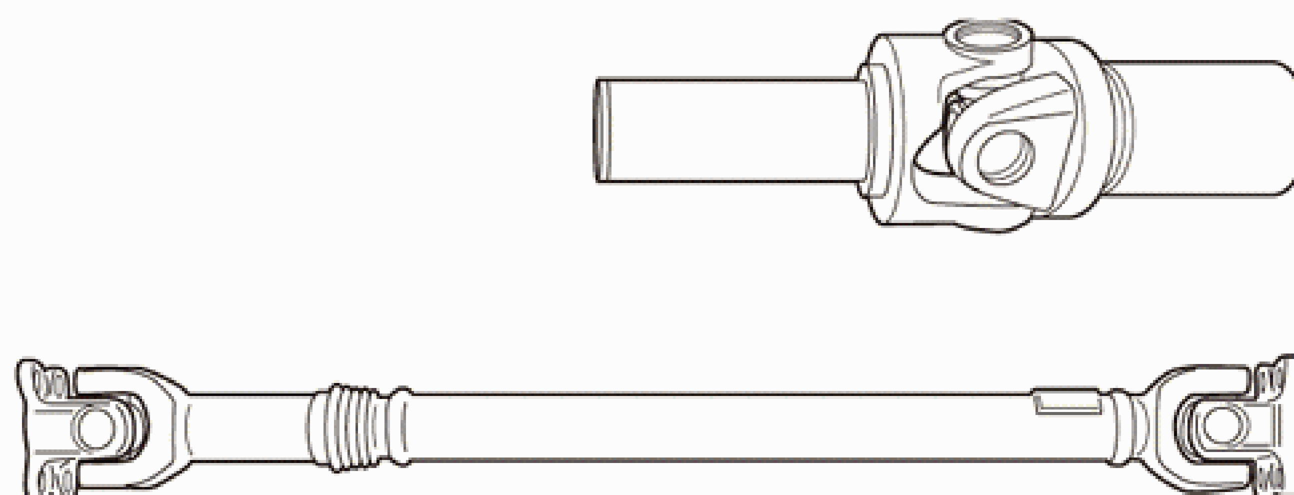
## Volantes motores livianos

El volante motor se instala en el extremo posterior del cigüeñal, antes del embrague, y su función principal es evitar irregularidades en la rotación del motor. Cuanto más pesado sea el volante motor, mayor será la suavidad con que el motor podrá girar. No obstante, un volante motor pesado puede resultar perjudicial cuando se busca alcanzar altas velocidades, por lo que es preferible reemplazar el volante motor existente por uno más liviano. Aunque puede hacer que las revoluciones del motor sean menos suaves y reduzcan el par, esto brinda las ventajas de la respuesta y la aceleración.



## Árboles de transmisión livianos

Un árbol de transmisión (también conocido como "eje impulsor") transmite potencia del motor de la caja de cambios al diferencial. El reemplazo de un árbol de transmisión regular por un modelo más liviano puede mejorar la respuesta y la aceleración del motor. Los árboles de transmisión livianos generalmente se fabrican con carbono o fibra de vidrio (FRP) y pueden tener la mitad del peso que los comunes. El peso reducido es por supuesto el beneficio principal, aunque el giro, más sereno, es otra ventaja de los ejes livianos.

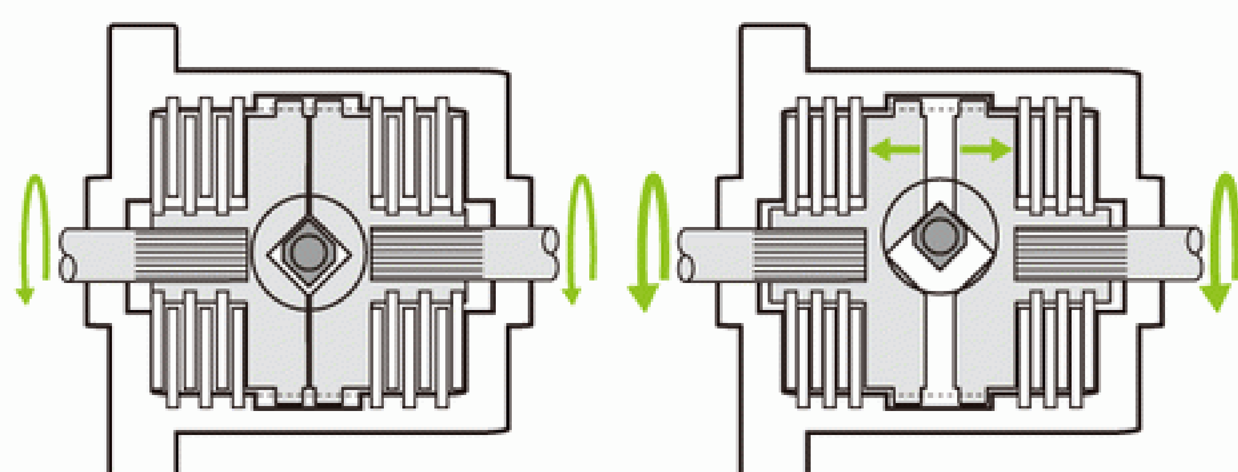


# Transmisión confiable de la potencia a la superficie del camino

## Diferencial de desplazamiento limitado

Un diferencial de desplazamiento limitado (LSD) resulta esencial para la transmisión confiable de potencia del motor al camino y para permitir el viraje a altas velocidades. Entre los diferentes tipos de LSD disponibles, la limitación más eficaz de la diferencia de giro en las ruedas de tracción es el tipo mecánico que emplee un embrague multiplato. Esto se debe a que brinda la máxima libertad al fijar el límite de diferencia de giro y, por lo tanto, se puede ajustar para proporcionar la mejor tracción según el esquema del tren de transmisión, las peculiaridades de un auto o un estilo de conducción en particular, la distribución de un circuito y muchos otros factores. La desventaja de esta libertad de elección es que la carga elevada que reciben las piezas implica que este tipo de LSD necesita cambios de lubricación constantes y mantenimiento periódico.

Los LSD mecánicos brindan la máxima libertad para configurar el límite de diferencia de giro entre ruedas, pero se consideran componentes automovilísticos especiales y no forman parte del equipamiento estándar.



## Factor de bloqueo

El factor de bloqueo describe el punto en el que un diferencial de deslizamiento limitado limitará la diferencia de giro entre dos ruedas. En un diferencial normal (abierto), el factor de bloqueo es del 0 % (es decir, las ruedas pueden girar con total independencia); un factor del 100 % representa un bloqueo total (es decir, las ruedas giran siempre de manera forzosa a la misma velocidad). Cuanto mayor es el factor de bloqueo, mayor la limitación sobre la diferencia de giro permitida. Un factor de bloqueo mayor no necesariamente es mejor. El factor de bloqueo, más bien, se debe calibrar con cuidado para lo que se deben tener en cuenta factores como el esquema del tren de transmisión, la altura del vehículo y la distancia entre ruedas, y cambiará según las características de conducción necesarias. Si el factor de bloqueo se fija en un valor demasiado alto, el subviraje aumentará, lo que conducirá a una pérdida de capacidad en curvas. En términos generales, un factor de bloqueo que ronde el 50 % facilitará al máximo el control y al mismo tiempo permitirá que el diferencial de desplazamiento limitado tenga influencia, pero el método de ensayo y error es el único que permite hallar el ajuste ideal para una situación determinada.

## Par motor inicial

"Par inicial" hace referencia a la cantidad de presión que actúa sobre los discos que se hallan dentro de la caja de engranajes. El aumento o la disminución del par inicial afectará el tiempo que el diferencial de desplazamiento limitado demore en bloquearse. Cuanto más alto sea, mejor será la respuesta de aceleración, ya que el diferencial de desplazamiento limitado se bloqueará casi al instante. Cuanto más bajo sea, mayor será la suavidad con que el diferencial de desplazamiento limitado se bloquee y más fácil será conducir. Generalmente, la modificación de un diferencial de desplazamiento limitado implicará el aumento del par inicial, pero esto puede afectar la capacidad en curvas y en vehículos FF puede empeorar el denominado "tironeo de la dirección", con lo que este no es siempre el caso. Recientemente, los LSD con ajustes de par inicial bajos y factores de bloqueo altos se han vuelto más comunes.

## Tipos de diferenciales de desplazamiento limitado

### 1 VÍA

Este tipo de diferencial de desplazamiento limitado solo funciona cuando el auto acelera. Debido a que no funciona si no se aplica el acelerador, permite que la rueda del lado interno gire libremente al aproximarse a una curva, lo mismo que sucedería con un diferencial abierto; esto brinda una capacidad en curvas más armónica. Este tipo de diferencial de desplazamiento limitado es especialmente adecuado para autos FF, ya que estos tienen propensión al subviraje, pero genera una diferencia marcada en el manejo según se aplique o no el acelerador.

### 2 VÍA

Este tipo de diferencial de desplazamiento limitado funciona sin importar si el acelerador se acciona o no. Esto genera un subviraje inicial bastante elevado, pero permite que el auto se mantenga más estable al desacelerar, lo que hace posibles aproximaciones más extremas a las curvas. También ostenta una excelente respuesta y permite al piloto tomar una curva de forma agresiva acelerando.

### 1.5 VÍA

En este tipo de diferencial de desplazamiento limitado, se combinan las características de los sistemas de 1 y 2 vías. El diferencial de desplazamiento limitado funciona de manera normal al acelerar, pero su influencia se reduce durante la deceleración para facilitar el viraje al aproximarse a una curva. Es una solución completa despojada de las peculiaridades que afectan a los otros tipos de diferencial de desplazamiento limitado.



# Cómo dar forma a la carrocería

**Una carrocería liviana y rígida para mejorar la aceleración y el control es esencial para el automovilismo. Sin importar cuánta potencia se dé al motor, si la carrocería del auto es demasiado pesada y flexible es improbable que el aumento de potencia se traduzca en velocidad real.**

## Reducción de peso y rigidez

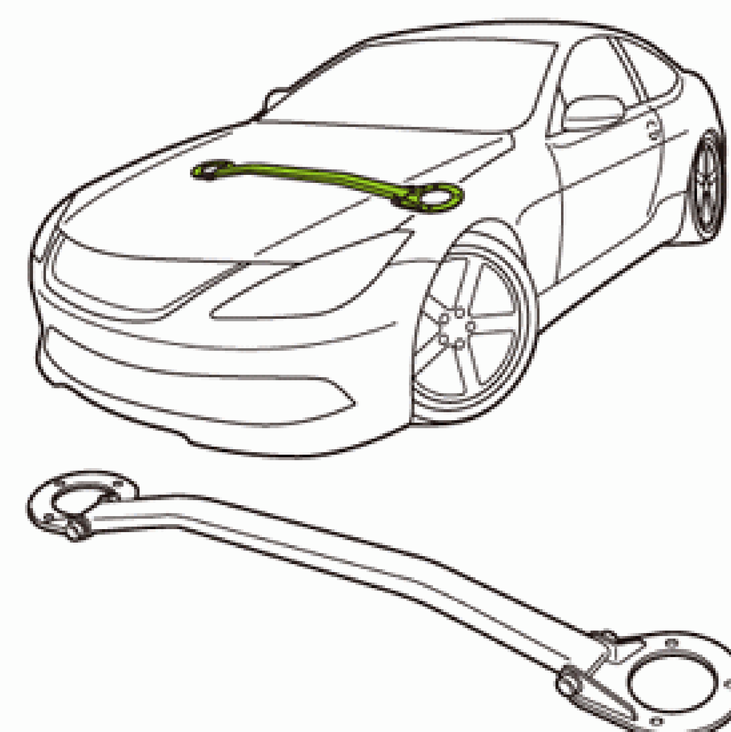
Cuando el objetivo es aumentar la velocidad y la movilidad del auto, la reducción de peso y el refuerzo de la carrocería son muy importantes. Reducir el peso no solo sirve para aumentar la aceleración; también genera beneficios considerables al aplicar los frenos y tomar curvas. Aumentar la rigidez también es esencial para que la suspensión se mueva correctamente, aun cuando se aplica una gran carga al auto y para mantener un contacto firme de los neumáticos con el suelo. Además, para que el piloto comprenda los movimientos del auto en condiciones de conducción extremas y para controlar el auto de forma precisa, es esencial tener una carrocería rígida que no se deforme. En pistas como la de Nürburgring, en las que el coeficiente de tracción (μ) es bajo y las intensas fuerzas G actúan tanto en sentido lateral como vertical, se hace imposible lograr incluso una vuelta satisfactoria en un auto cuya carrocería no tiene suficiente rigidez.

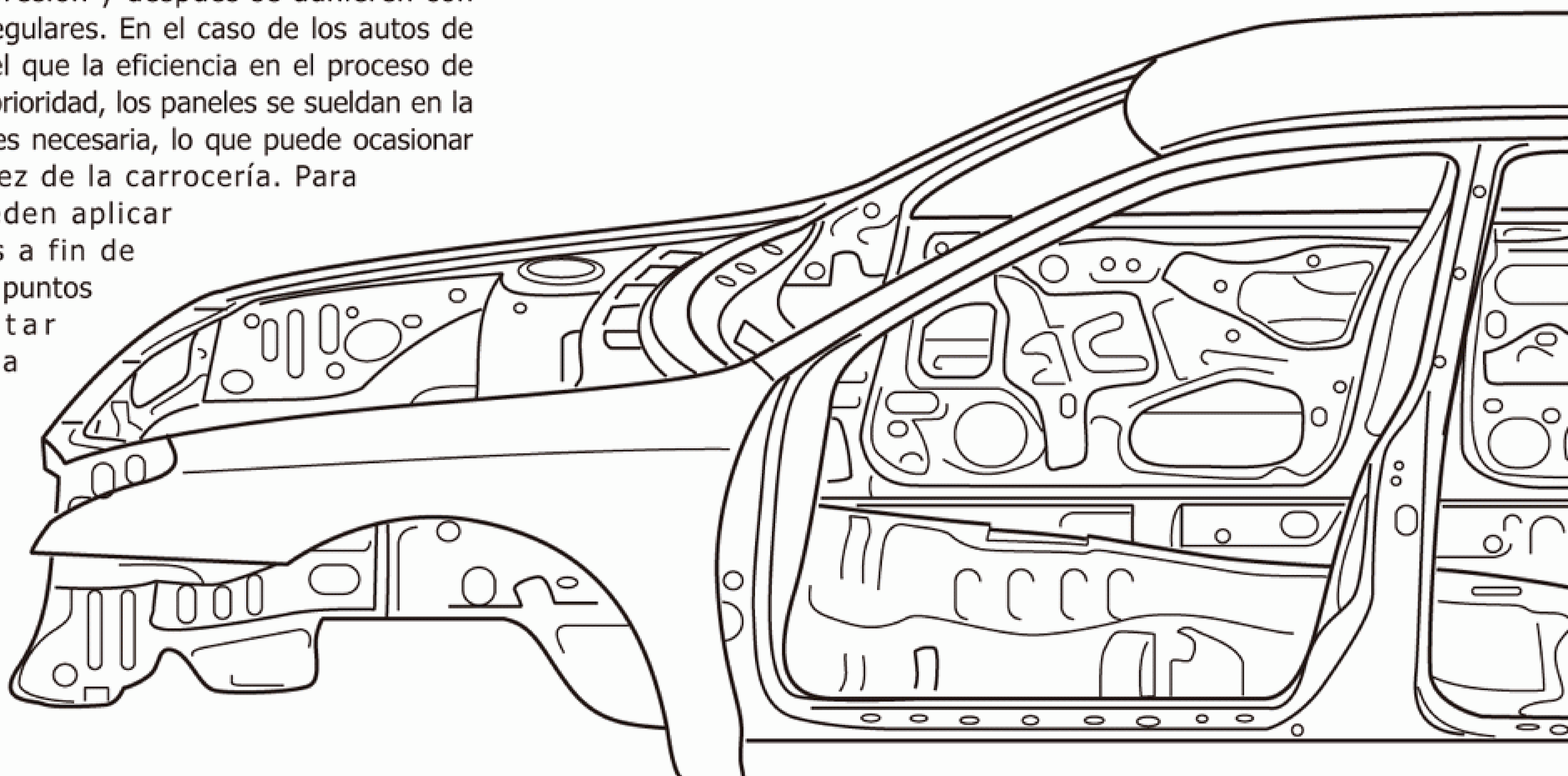
### Soldadura por puntos

La carrocería de un auto se construye con paneles de metal que se unen mediante presión y después se adhieren con soldaduras a intervalos regulares. En el caso de los autos de fabricación en serie, en el que la eficiencia en el proceso de fabricación es la máxima prioridad, los paneles se sueldan en la mínima cantidad de lugares necesaria, lo que puede ocasionar deficiencias en la rigidez de la carrocería. Para subsanar esto, se pueden aplicar soldaduras adicionales a fin de aumentar la cantidad de puntos de unión y aumentar considerablemente la resistencia y la rigidez de la carrocería. La ventaja de este método es que no implica agregar componentes nuevos y que no hay que preocuparse por agregar peso al auto.

### Cabeza de suspensión

Se trata de una barra que se conecta a los puntos de sujeción de la suspensión y (por encima del hueco de la rueda) a ambos lados de la carrocería. Sirve para mejorar la rigidez de la parte delantera de la carrocería y garantizar un movimiento preciso de la suspensión, y al mismo tiempo hace más precisa la respuesta de la dirección. En general, una cabeza de suspensión se debe instalar junto con elementos para mejorar los muelles, los amortiguadores y los bujes. Es común que solo se instalen cabezas de suspensión en la parte delantera del vehículo, pero es más recomendable colocar una en la parte trasera también para obtener una rigidez más equilibrada.

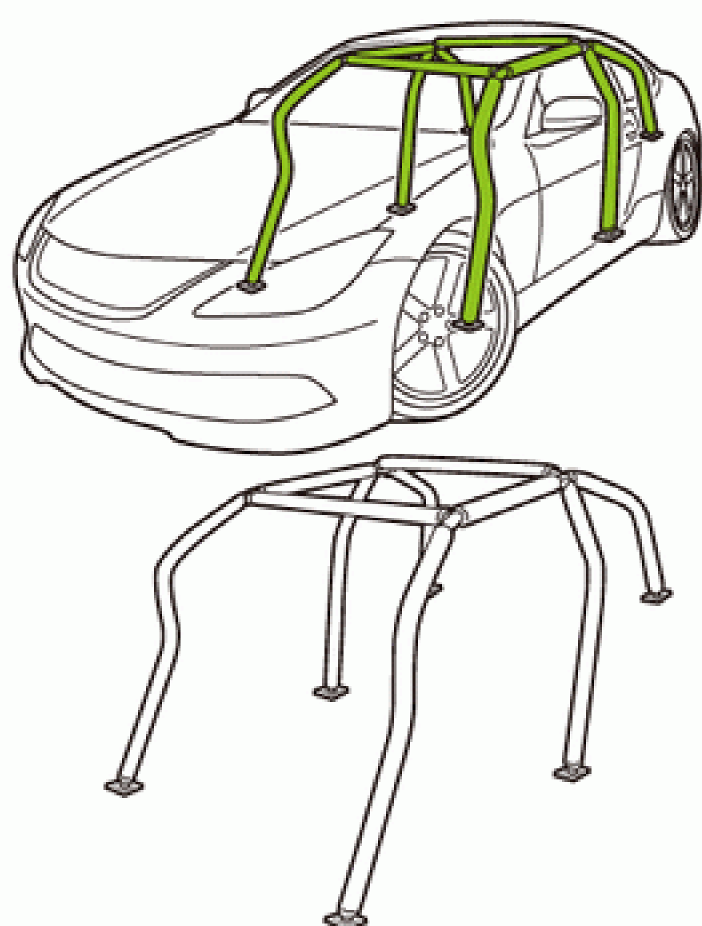




# Para un manejo preciso

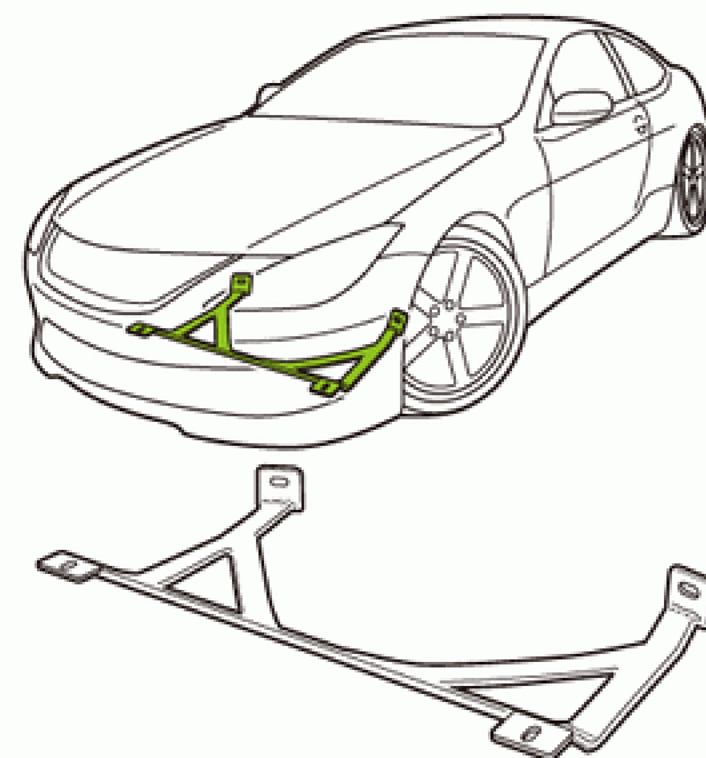
## Jaula antivuelco

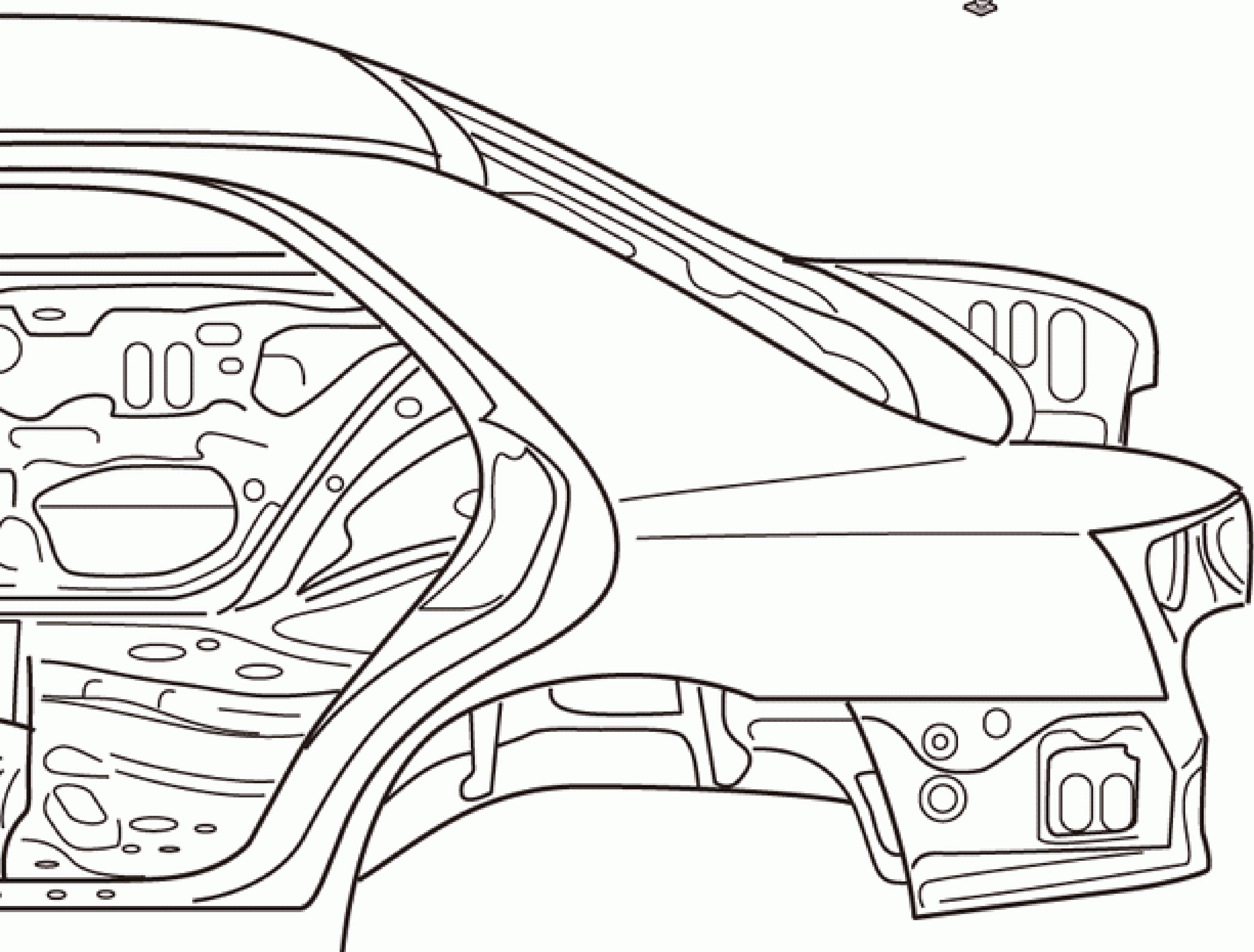
Las jaulas antivuelco están diseñadas para proteger a los pasajeros en caso de un choque, pero también son efectivas en aumentar la rigidez de la carrocería. Para lograr esto, no debe haber espacio entre la jaula antivuelco y el techo y los pilares de apoyo, y debe estar soldada con firmeza en lugar de simplemente fijada con pernos. La jaula antivuelco también debe contar con muchas riostras y muchos puntos de soporte para realmente proporcionar un aumento importante en la rigidez.



## Barra de refuerzo

Una barra de refuerzo es una barra de metal altamente resistente a la flexión y la torsión. Mejora la rigidez del piso del vehículo y al mismo tiempo sirve para conectar la suspensión con el chasis, lo que limita cualquier movimiento no deseado, a fin de maximizar el rendimiento de la suspensión. De esta manera, así como una cabeza de suspensión soporta la suspensión y la carrocería debajo del capó, una barra de refuerzo soporta el auto desde abajo de la carrocería. Cuando se utilice junto con una cabeza de suspensión, la estabilidad del comportamiento del auto mejorará aún más.





## Reducir el peso

La manera más eficaz de mejorar la aceleración, el frenado y el viraje de un auto es hacer más liviana la carrocería. Las modificaciones pueden ir desde las básicas, como la eliminación del sistema de aire acondicionado y de materiales de insonorización, hasta el reemplazo de paneles de la carrocería por paneles de materiales livianos como el aluminio o la fibra de carbono. Llevadas al extremo, pueden incluir el reemplazo de toda la carrocería por una de fibra de carbono y del chasis por uno de aluminio. Sin embargo, siempre se debe tener en cuenta que para mantener el equilibrio en los controles y el manejo del auto también se debe aumentar su rigidez. Para mantener un centro de gravedad bajo, resulta más eficiente y efectivo comenzar por concentrarse en reducir el peso de las piezas superiores del auto en primer lugar.

FRENOS

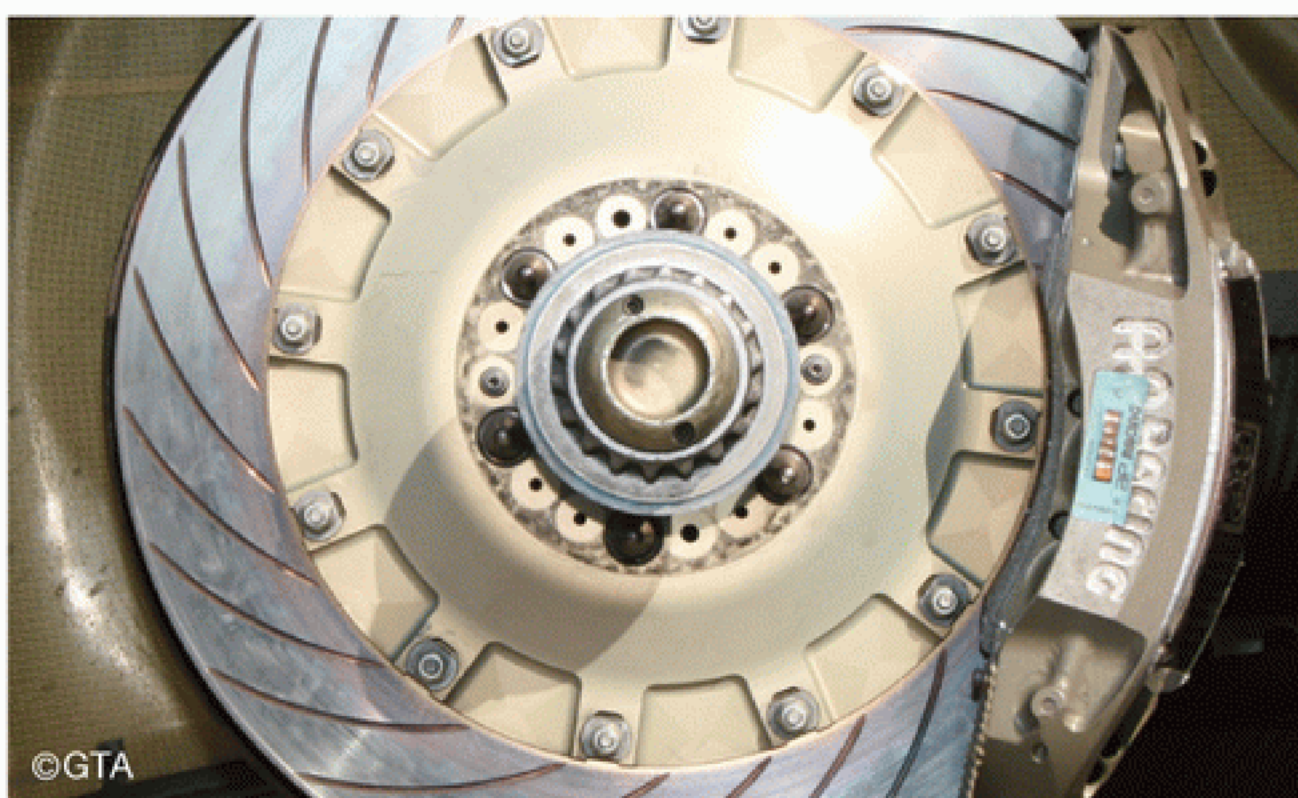
CAPÍTULO 03 Modificación y ajustes

# Cómo mejorar la potencia de detención

**Las mejoras de potencia del motor se deben complementar con un aumento en la potencia de frenado. La confianza de aplicar el pedal solo puede provenir de saber que es posible detener el auto con eficacia. Sin embargo, la utilización de frenos más potentes implica que también se deben emplear métodos más eficaces para lidiar con el calor excedente.**

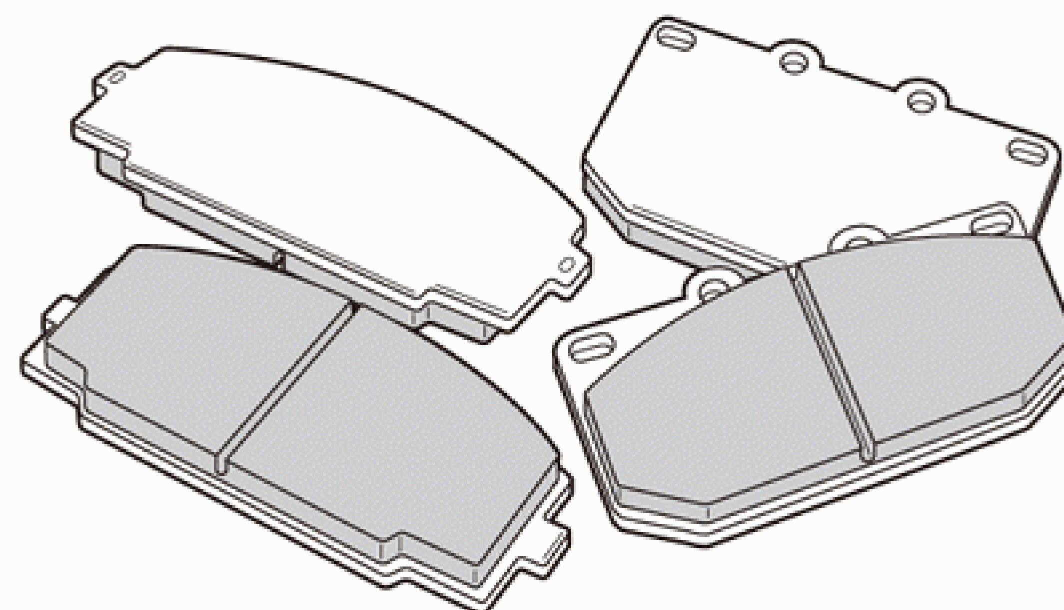
## Cómo aumentar la potencia de frenado y evitar el desgaste

Un motor modificado con una velocidad máxima más alta exige un sistema de frenos más fuerte y que sea más resistente al desgaste. En el nivel más básico, los frenos se pueden mejorar reemplazando las pastillas de freno; en el nivel más extremo, las mejoras pueden incluir el reemplazo de todo el sistema de frenos por un sistema de alta calidad diseñado para automovilismo. Se debe recordar que los sistemas de frenado de los autos de carreras no están necesariamente preparados para todas las aplicaciones, lo que hace que sea importante seleccionar piezas que se adecuen a las necesidades específicas. A su vez, se debe tener en cuenta que las pastillas o los calibres de freno de mayor tamaño aumentarán el peso no suspendido del auto, lo que puede tener un efecto negativo en la maniobrabilidad. La regla de oro es que la potencia de frenado siempre debe superar la del motor, pero la instalación de un sistema de frenos demasiado eficaz en un auto liviano puede afectar el equilibrio en el rendimiento.


©GTA

### Pastillas de freno

Los componentes más básicos a tener en cuenta para la modificación de los frenos son las pastillas, que controlan la potencia de frenado y la resistencia al desgaste de los frenos. La variedad de pastillas de frenos que se ofrecen es enorme, y va desde diseños para calle hasta diseños para automovilismo. Cada uno de estos tiene una temperatura óptima diferente, a la que la potencia de frenado es mayor, y un nivel de resistencia al calor diferentes. Es posible que la selección de las pastillas de freno incorrectas para las necesidades en cuestión no dé los resultados esperados y que incluso tenga un efecto perjudicial en la conducción del auto. Las pastillas de calidad superior también se gastan rápidamente y aumentan el desgaste de los discos de freno debido al aumento de la fricción. Como regla general, al realizar un cambio de pastillas de freno, todas se deben cambiar al mismo tiempo para garantizar un frenado parejo.



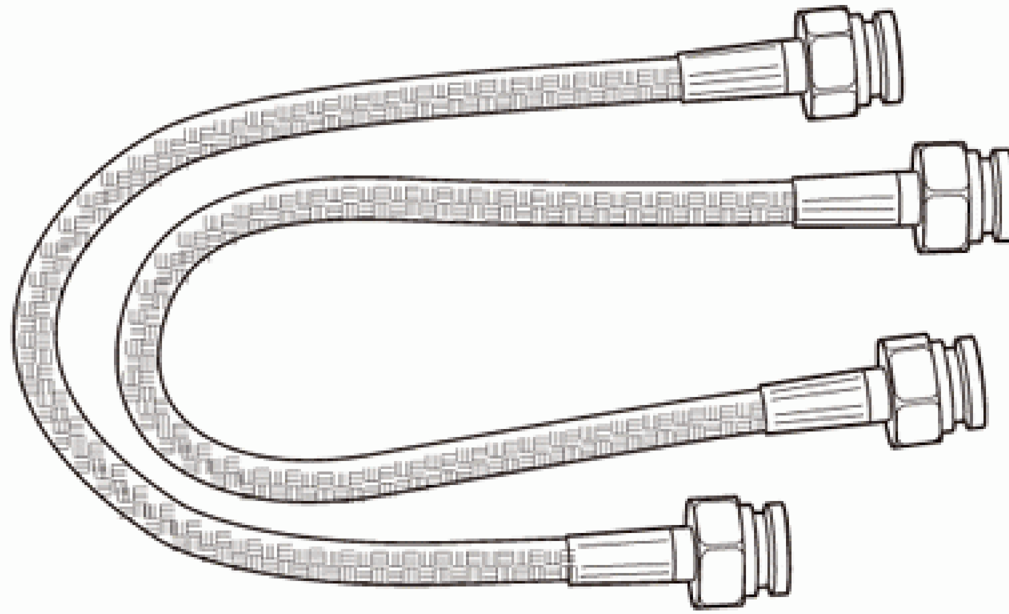
### Líquido de frenos

Se trata del líquido utilizado en sistemas de frenos hidráulicos. Tiene un punto de ebullición de 200 °C para evitar el bloqueo por vapor, pero también tiene una altísima absorbencia de humedad, lo que significa que se puede deteriorar con mucha facilidad. Los líquidos de freno se clasifican con el sistema del Departamento de Transporte (DOT, Department of Transportation) de los EE. UU. El punto de ebullición aumenta a medida que la clasificación del DOT es más alta, pero también lo hace la tendencia a absorber la humedad, y esto significa que el líquido se degradará con mayor facilidad (lo que reduce el punto de ebullición). Por este motivo, el líquido de frenos DOT 5 que se utiliza en autos de carreras se debe reemplazar a menudo. Se debe tener en cuenta que la potencia de frenado no aumenta junto con la graduación de DOT.

Mejorar los frenos

## Mangueras de frenos

Las mangueras de frenos son las tuberías por las que se desplaza el líquido de frenos. Normalmente se confeccionan con caucho, pero las frenadas abruptas pueden hacer que se hinchen y que se reduzca su respuesta. Esto se puede evitar mediante el uso de mangueras de frenos con malla de acero inoxidable. Estas son mangueras de teflón revestidas con una malla inoxidable en las que se combinan la flexibilidad del caucho y una mayor resistencia al hinchamiento. Se instalan como parte del equipamiento estándar en vehículos de carreras para garantizar que los frenos siempre respondan a las órdenes del piloto.



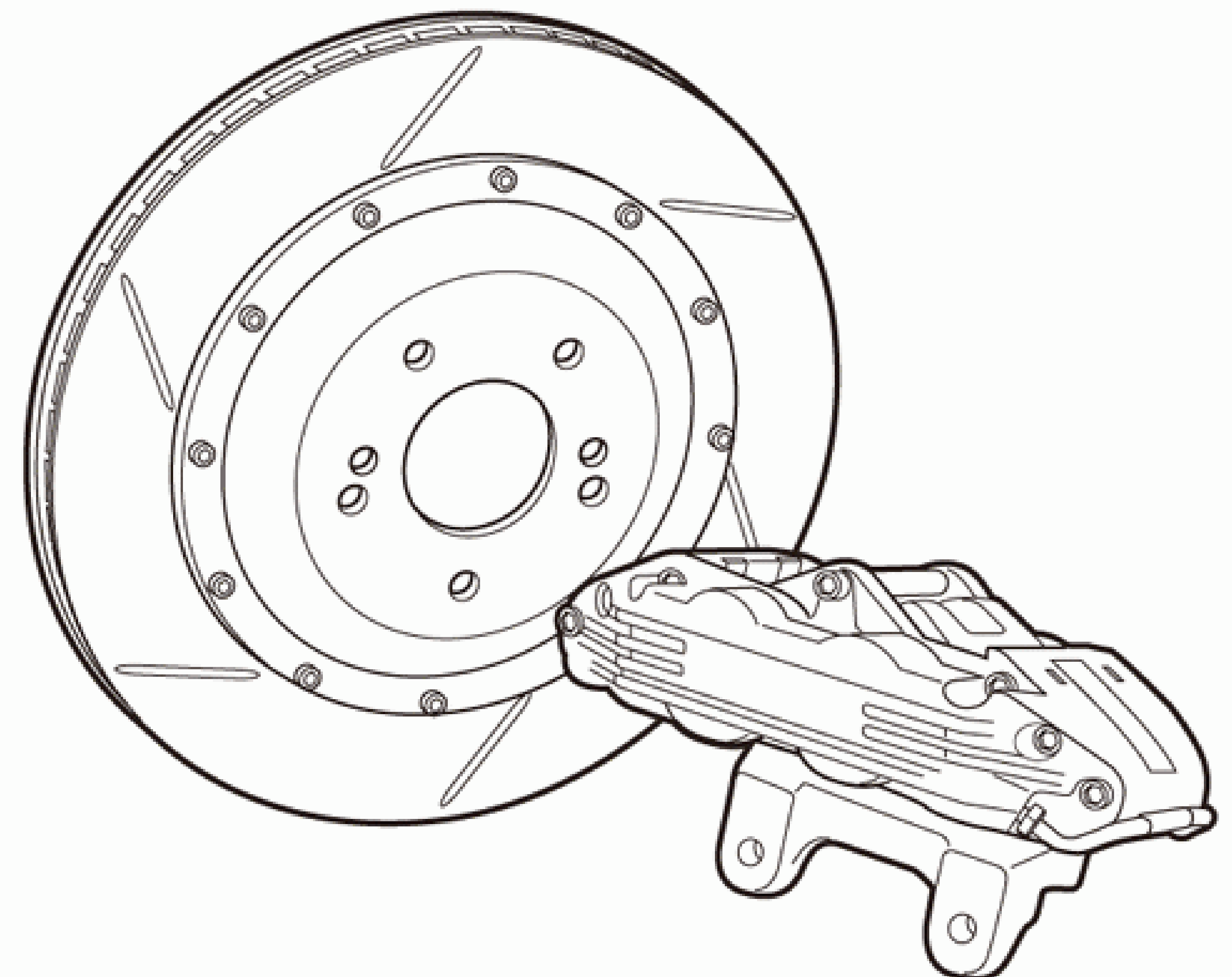



## Discos de freno

La manera más eficaz de aumentar la potencia de frenado es aumentar la capacidad de frenado. Esto implica utilizar discos de mayor diámetro para generar más fricción. No obstante, los discos de frenos de hierro fundido grandes aumentarán el peso no suspendido, lo que puede tener un efecto negativo en la experiencia de conducción de un auto. Para evitar esto, se están empezando a utilizar discos livianos de cerámica y fibra de carbono. Debido a que se desgastan con el uso, los discos de frenos se deben reemplazar o pulir en forma regular para conservar su potencia de frenado.

## Calibres

El mejoramiento de los calibres de frenos a menudo implica reemplazar todo el sistema de frenos. Los calibres normales presionan las pastillas contra los discos de frenos de un lado y una forma de mejorarlos es reemplazarlos por calibres de pistón opuesto, que ejercen presión de los dos lados. Algunos autos de fabricación en serie ahora vienen con frenos con un total de seis pistones, ya que cuanto mayor sea la cantidad de pistones más uniforme será la presión que se ejerza sobre la pastilla de freno, lo que aumentará la potencia de frenado. Los calibres de pistón opuesto se hacen de un solo bloque y su gran rigidez proporciona un frenado estable inclusive en condiciones de conducción difíciles.



SUSPENSIÓN

CAPÍTULO 03 Modificación y ajustes

# Cómo mejorar la suspensión

**En condiciones de conducción exigentes, es esencial contar con el respaldo de una suspensión bien regulada para conservar la estabilidad y mejorar la maniobrabilidad. La modificación de la suspensión puede transformar por completo el carácter de un auto.**

## Cómo ajustar las características de manejo

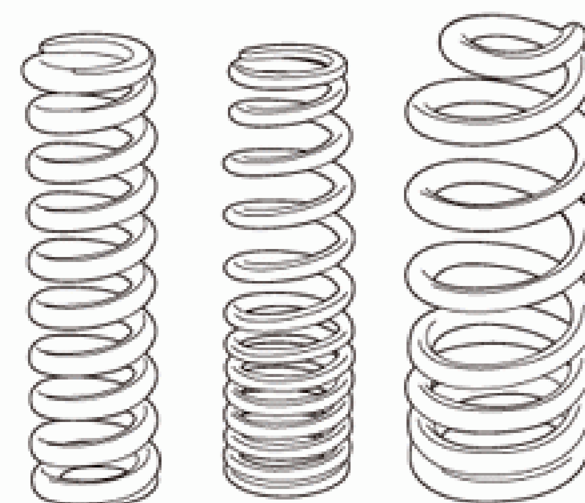
Modificar la suspensión para la conducción deportiva implica sacrificar la comodidad por la velocidad. Mientras el auto se encuentre sobre suelo llano, como en un circuito de carreras, cuanto más abajo se encuentre la carrocería respecto del suelo más bajo será el centro de gravedad, y más estable será su comportamiento. Una suspensión más rígida genera un menor desperdicio de movimiento durante la aceleración, la desaceleración y el viraje, lo que conserva la precisión en el manejo. Sin embargo, si la suspensión no se mueve en absoluto, el auto no podrá manejar con eficacia la transferencia de carga y la conducción será extremadamente deficiente. La mejor solución es hacer más rígida la suspensión y tener en cuenta hasta qué grado el peso se deberá desplazar en las cuatro direcciones. Según el vehículo y la superficie en la que se maneje, posiblemente sea necesario a veces hacer más blanda la suspensión para mejorar el agarre.

### Amortiguadores

El objetivo de mejorar los amortiguadores es proporcionar una fuerza de amortiguación superior que la de un amortiguador común, que se enfoca a la comodidad de manejo. Al mejorarlos, es posible mantener la estabilidad aun a altas velocidades y con grandes cargas, y se mejora el control. El reemplazo y la puesta a punto de los amortiguadores se debe hacer normalmente al mismo tiempo que los de los resortes.

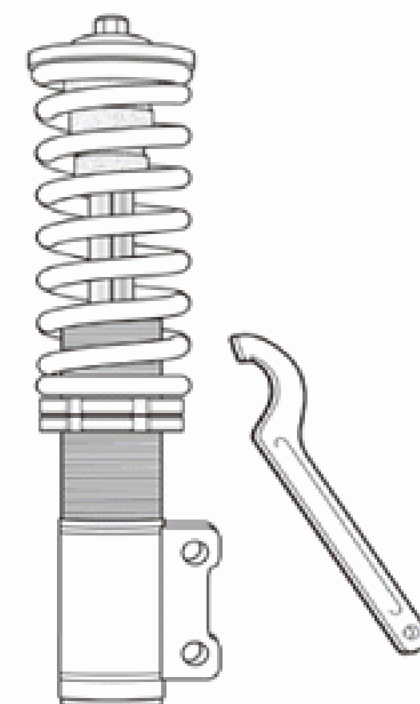
### Resortes

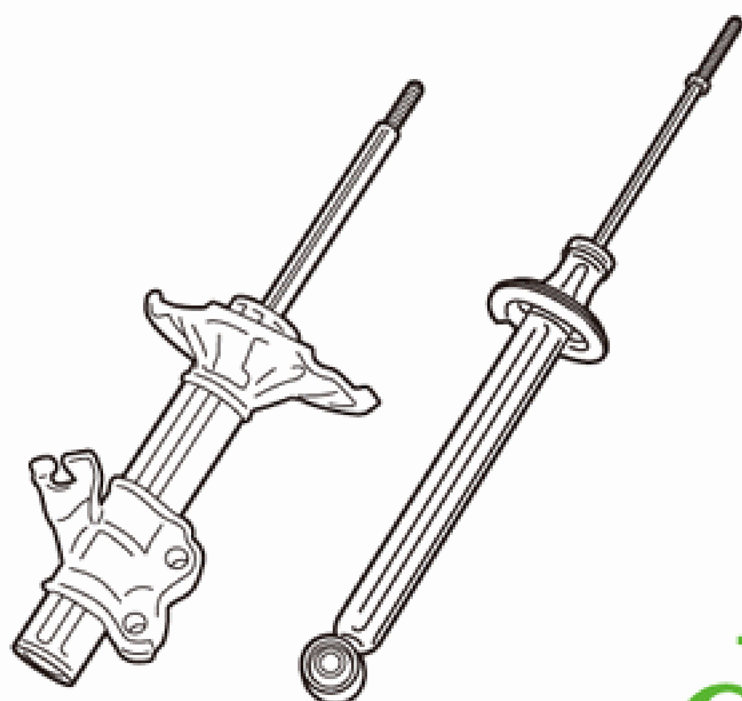
Los muelles mejoran el manejo al permitir obtener un centro de gravedad bajo y también son esenciales para conservar la estabilidad al evitar los vuelcos cuando se toman curvas, el descenso excesivo de la trompa al aplicar los frenos y el asentamiento al iniciar la marcha y acelerar.



### Suspensión de peso ajustable

El tipo principal de suspensión de peso ajustable permite ajustar la altura de desplazamiento mediante amortiguadores que pueden aumentar o reducir la longitud de los muelles, además de permitir el ajuste de la fuerza de amortiguación. Esto permite que se ajuste con precisión para adecuarse a cualquier situación. Existen varios métodos para ajustar la altura de desplazamiento y entre ellos se incluyen el de tornillos ajustables, anillos C y soportes.

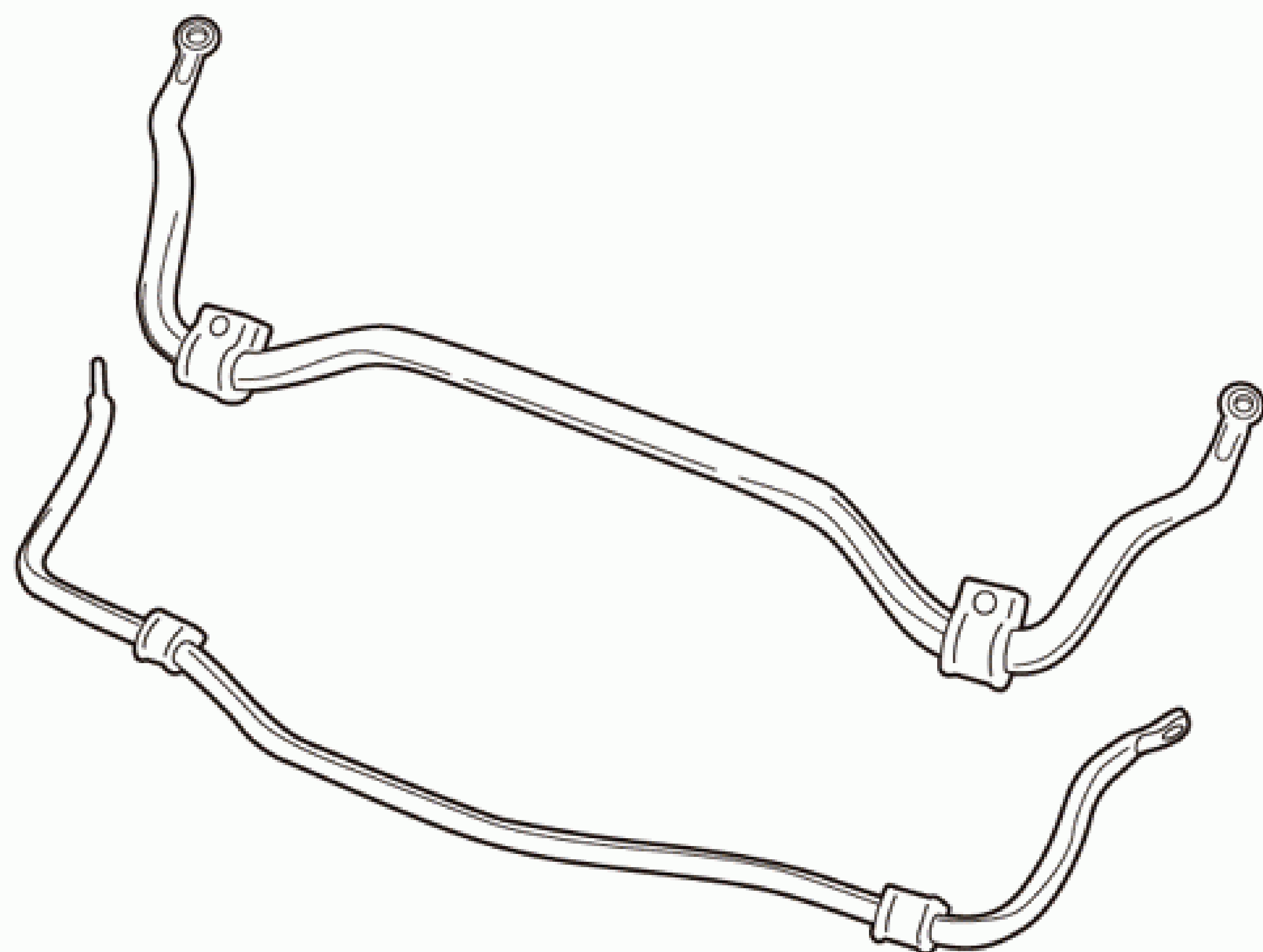


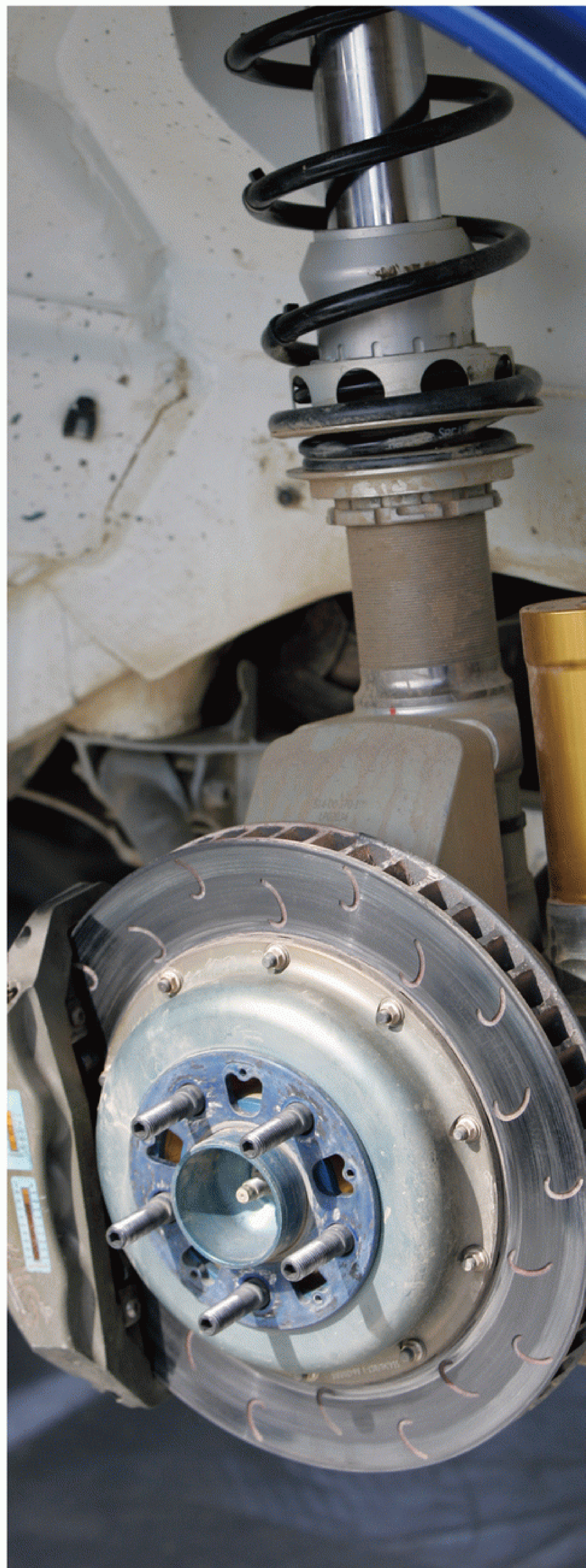


# Cómo obtener el nivel de manejo deseado

## Barras estabilizadoras

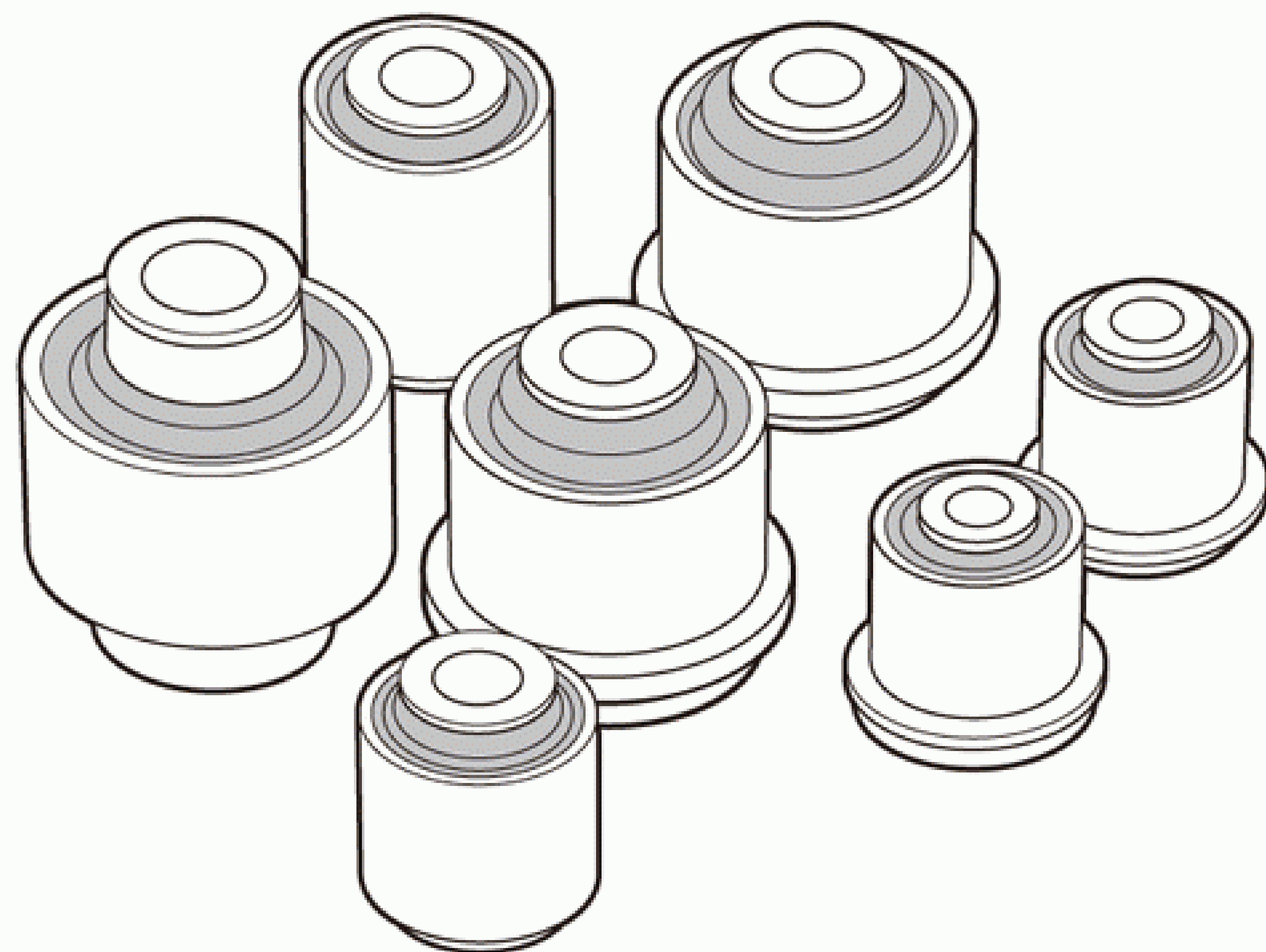
Endurecer las barras estabilizadoras puede ayudar aún más a reducir los vuelcos en las curvas. Si la barra estabilizadora delantera es más fuerte, el subviraje aumenta, y si lo mismo ocurre con la trasera, el sobreviraje aumenta.





## Bujes

Si se utilizan bujes más resistentes en los amortiguadores, los brazos de la suspensión y otros puntos de sujeción de la carrocería, además de los bujes en otras conexiones de varillaje, se pueden eliminar movimientos indeseados en la suspensión y se obtiene mayor respuesta en la dirección. Generalmente, los bujes de la suspensión se confeccionan con materiales a base de resinas, como el caucho o el poliuretano, pero también se pueden utilizar bujes lisos esféricos, que emplean una esfera metálica en la pieza móvil.

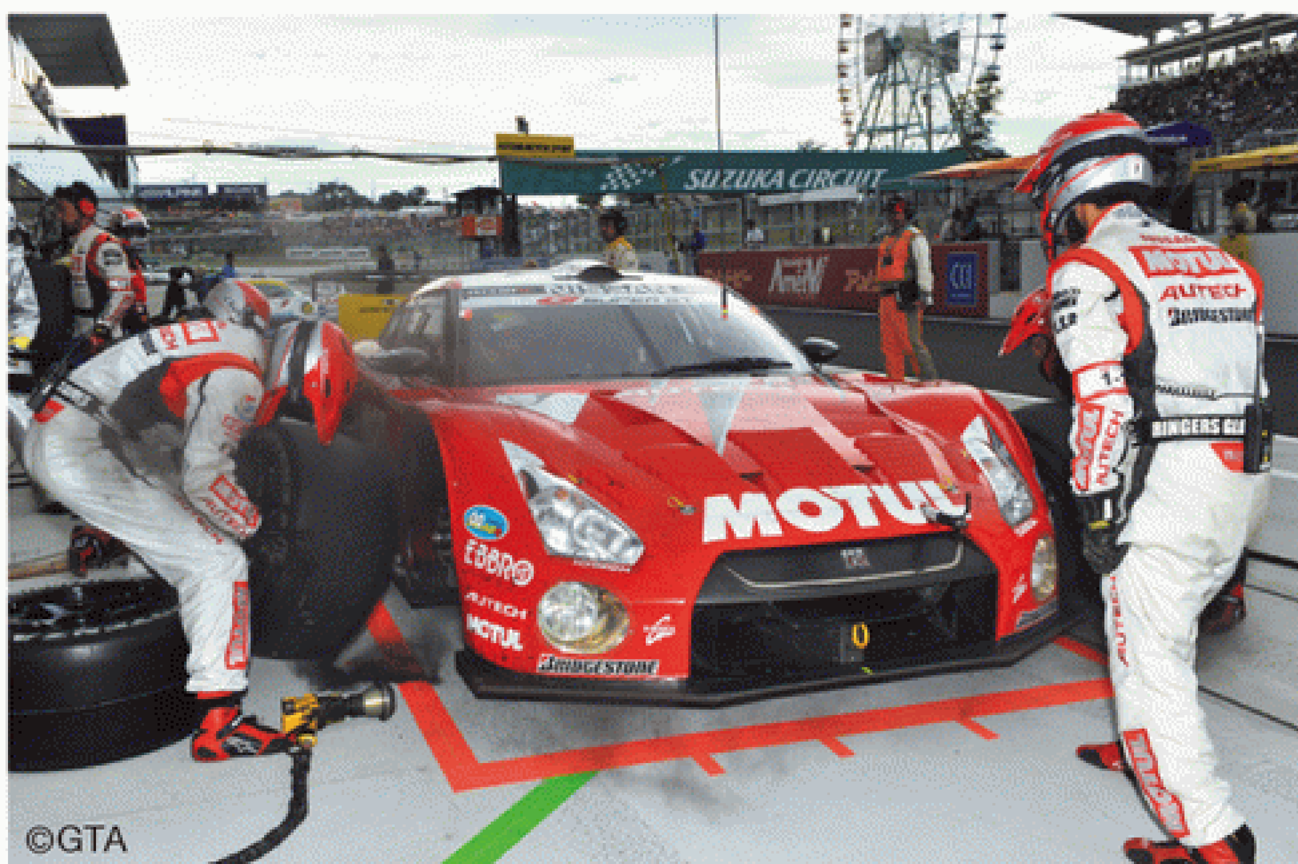


NEUMÁTICOS

CAPÍTULO 03 Modificación y ajustes

# Actualizar a neumáticos de alto rendimiento

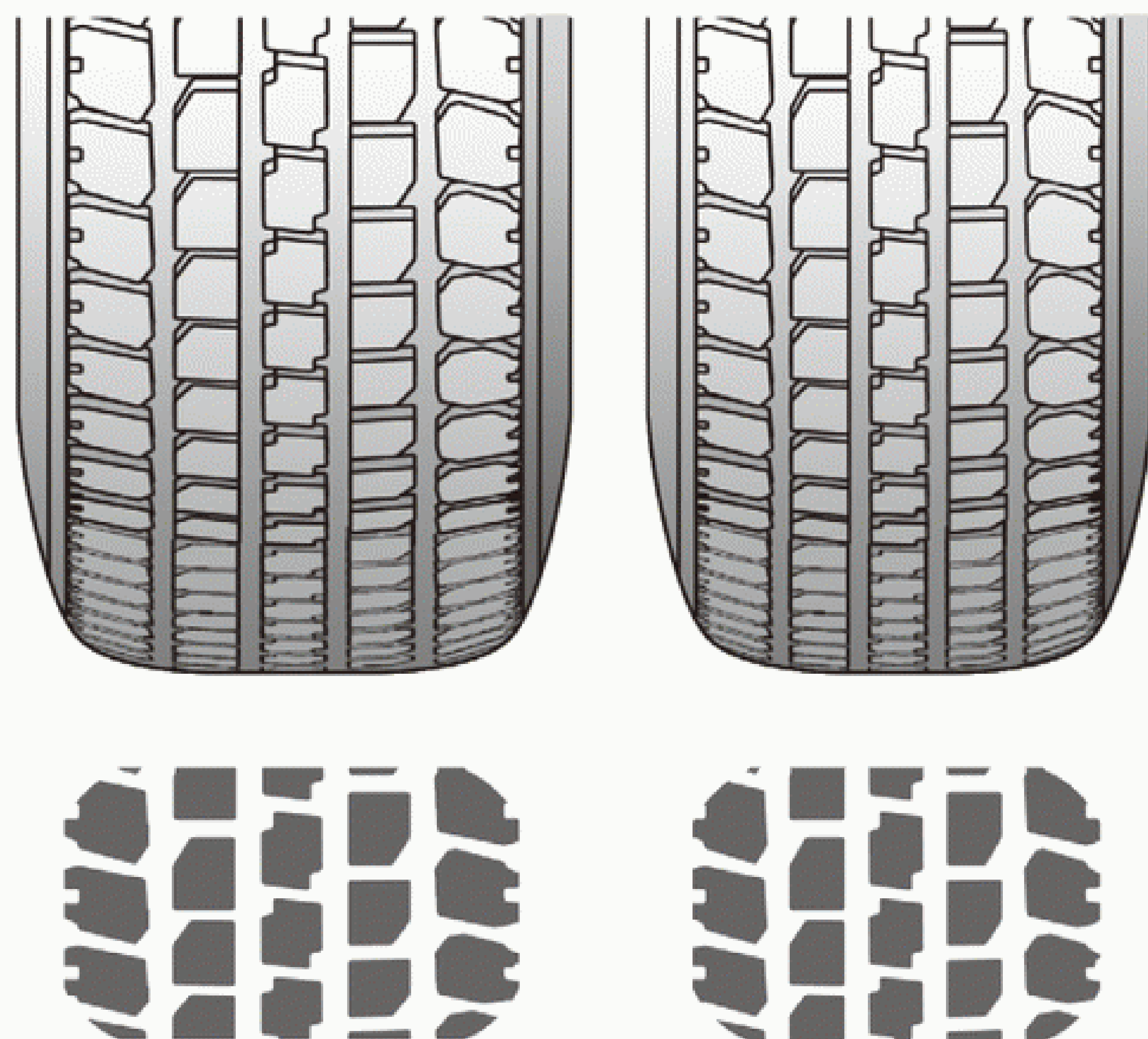
**Los neumáticos de alto rendimiento son un arma de doble filo, ya que mejoran el agarre enormemente, pero hacen extremadamente difícil el control cuando superan sus límites. Los neumáticos se deben elegir considerando cuidadosamente la manera en que complementarán la potencia y otras características del vehículo.**



©GTA

## Ancho

El aumento del ancho de los neumáticos hace que aumente la superficie de contacto de estos con el suelo, y con ello el agarre. Sin embargo, el agarre no solo se ve afectado por el grado de contacto del neumático con el suelo, sino también por la carga que el neumático recibe. Por lo tanto, es posible que la colocación de neumáticos de ancho excepcional en un auto liviano no mejore el agarre de manera considerable, ya que probablemente el peso que reciban no será suficiente. Otro problema puede surgir al colocar neumáticos sobredimensionados en un auto de potencia inferior en el que se use tanta potencia para contrarrestar el agarre de los neumáticos que el auto pierde velocidad. Por estas razones, la selección del tamaño de los neumáticos se debe basar en el peso y la potencia del vehículo.



## Mayor agarre y rigidez

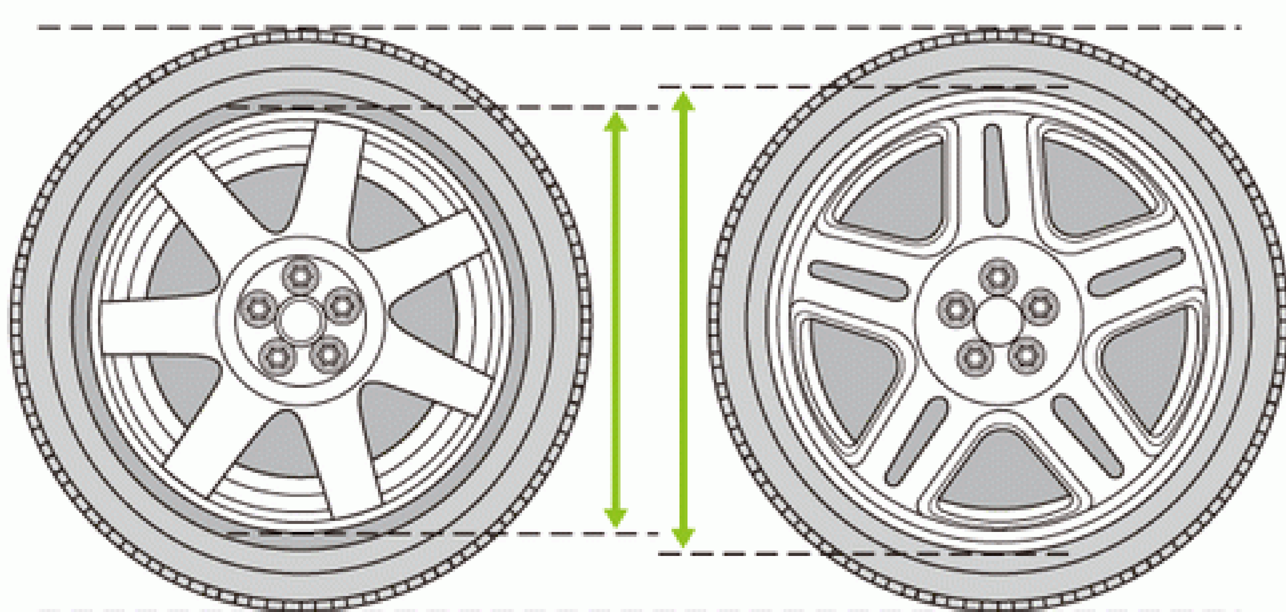
El agarre y la rigidez son las características más importantes de los neumáticos de alto rendimiento.

Los neumáticos sin dibujo (neumáticos diseñados para carreras) ostentan lo mejor de ambas. El compuesto de caucho con el que se fabrican proporciona un excelente agarre, ya que se derrite levemente y se adhiere a la superficie de la pista al calentarse, y no cuentan con ranuras para mantener la rigidez en la parte que entra en contacto con el camino. En el caso de los neumáticos para el camino diseñados para ofrecer alto rendimiento, el enfoque es levemente menos extremo, ya que se utilizan compuestos de caucho más blandos y los patrones de banda de rodamiento tienen ranuras de muy poca profundidad. Sin embargo, en superficies mojadas, las ranuras son esenciales para garantizar que los neumáticos puedan expulsar el agua por si solos; cuantas más haya y más profundas sean, mejor será el resultado. Por lo tanto, es un factor clave en el momento de elegir los neumáticos decidir hasta qué grado se equilibrarán las características para condiciones húmedas y secas.

# Agarre efectivo en el camino

## Bajo perfil

El perfil (o la relación de aspecto) de un neumático describe su altura en comparación con su ancho. La utilización de neumáticos de perfil bajo es una de las maneras de aumentar el tamaño de las ruedas sin aumentar el diámetro, y no implica necesariamente aumentar el ancho. Uno de los beneficios principales de los neumáticos de perfil bajo es que la pared lateral más corta se pliega menos al tomar curvas y frenar; esta rigidez mayor acarrea mejoras en la respuesta y el manejo de la dirección. Sin embargo, la reducción del perfil de los neumáticos aumenta el tamaño de las ruedas, lo que implica un mayor peso no suspendido si se lo lleva muy lejos; esto puede, a su vez, traducirse en una maniobrabilidad deficiente. En la conducción competitiva, se elige un perfil más bajo y ruedas más grandes para tener más espacio para frenos más eficaces.



## Compuesto

El caucho que se utiliza para confeccionar la parte del neumático que entra en contacto con el suelo se conoce como "compuesto" e indica el agarre del neumático. Los neumáticos de alto rendimiento que priorizan el agarre llevan componentes blandos que se adhieren mejor a la superficie del suelo, y los neumáticos de carreras incluso se derriten levemente con el calor para poder aferrarse mejor a la superficie del camino. Sin embargo, aunque tienen mejor agarre, los componentes blandos se desgastan más rápido, y los componentes más duros son más duraderos. Es importante comprender las características del compuesto que se utiliza para elegir el neumático adecuado. Los pilotos también deben tener en cuenta que el caucho se endurece con el tiempo y que los neumáticos nuevos perderán agarre debido a esto, en especial aquellos hechos con componentes más blandos.

## Patrón de banda de rodamiento

La serie de ranuras hechas en la superficie de un neumático se conoce como "patrón de banda de rodamiento" y se diseña para conservar el agarre en condiciones de humedad mediante la expulsión del agua de la superficie del neumático. Sin embargo, en condiciones secas, estas ranuras reducen la rigidez y pueden hacer que la superficie del neumático se balancee bajo cargas pesadas; por ejemplo, al tomar curvas, frenar y acelerar. Debido a esto, los neumáticos sin dibujo que se utilizan para carreras no tienen ranuras y los semicompetitivos llevan la menor cantidad posible de ranuras que tienen la menor profundidad posible para conservar la rigidez.

# Mejoramiento de la aerodinámica

**El mejoramiento en la aerodinámica es un aspecto esencial del aumento del rendimiento de alta velocidad. La aplicación incorrecta de estas mejoras, no obstante, puede ocasionar más problemas de los que solucionará, por lo que es necesario un enfoque extremadamente delicado.**

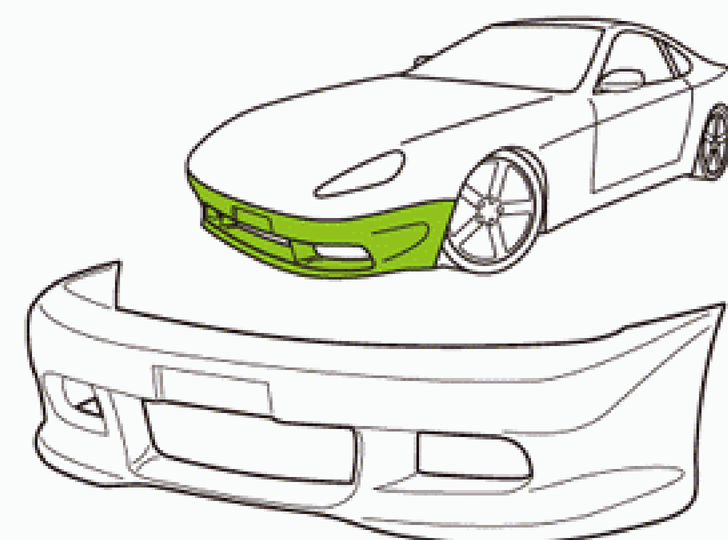
# Aprovechamiento del viento

## Modificación aerodinámica

Los aditamentos aerodinámicos a menudo se colocan por motivos puramente estilísticos, pero cuando se utilizan de manera correcta se convierten en una parte esencial de la modificación de un auto para su perfeccionamiento. Una modificación aerodinámica bien hecha reducirá la resistencia aerodinámica que limita la velocidad y el empuje ascendente que fuerza la elevación de la carrocería respecto del suelo, lo que aumenta enormemente el rendimiento general. La carga creada por los aditamentos aerodinámicos es vital para mejorar la estabilidad y maximizar el agarre de los neumáticos, a fin de mejorar la controlabilidad del auto. Sin embargo, es esencial equilibrar las modificaciones aerodinámicas con la suspensión y el resto del auto, ya que no es poco común que una puesta a punto inapropiada dificulte el rendimiento general.

### Alerón delantero

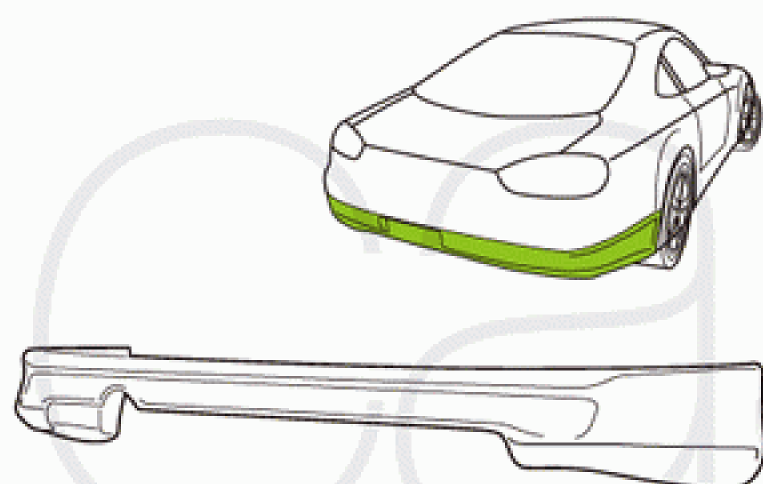
Diseñado para curvar el flujo de aire debajo del auto y así reducir el empuje ascendente. Sin embargo, en casos inusuales, con piezas que tienen una forma inadecuada en un auto con la carrocería baja, se produce un flujo de aire presurizado debajo del estrecho espacio entre el auto y el suelo, lo que produce el efecto contrario al deseado. En los peores casos, esto puede ocasionar la pérdida total del control.





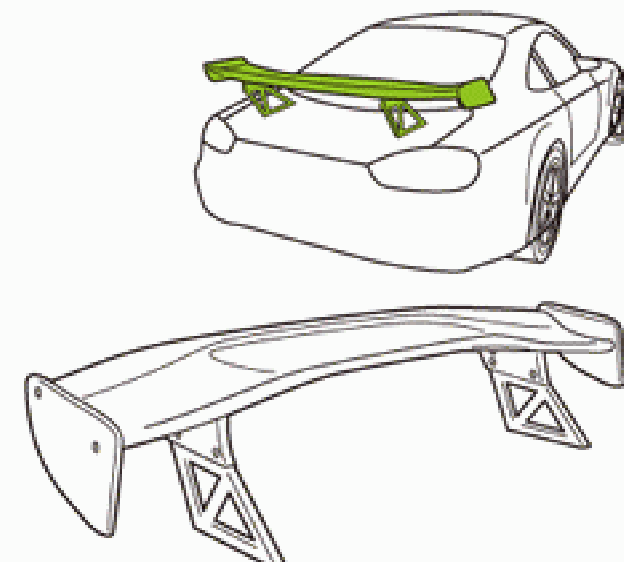
## Spoiler del parachoques trasero

Diseñado para optimizar la forma del parachoques trasero, evitar turbulencias detrás del auto y garantizar un flujo de aire suave. El parachoques y el spoiler del parachoques trasero pueden fabricarse como una sola pieza o bien el spoiler puede instalarse como un aditamento separado que se coloca en la parte inferior del parachoques. El primero se conoce como spoiler del parachoques trasero y el segundo como spoiler inferior trasero o faldón trasero.



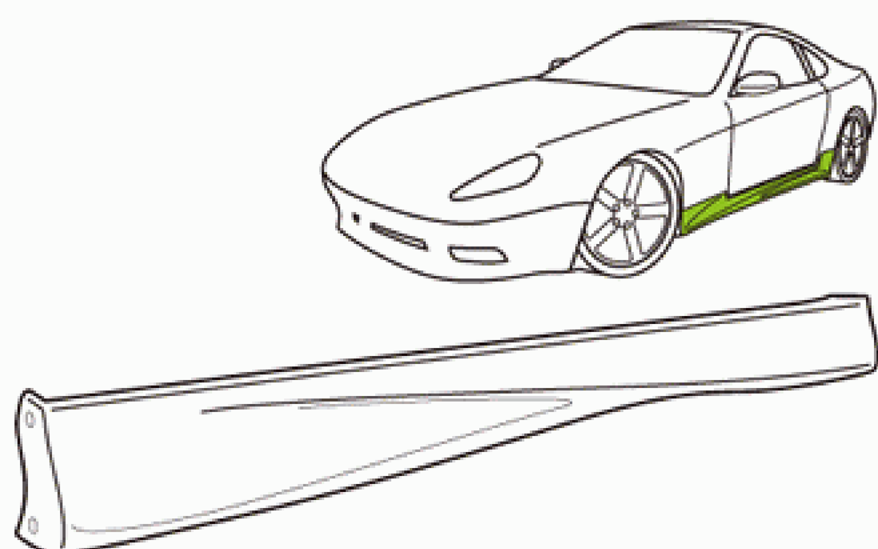
## Alerón trasero

Los spoilers del alerón trasero se montan en la parte superior trasera de la carrocería y garantizan que el flujo de aire del auto sea suave, lo que evita la turbulencia. La forma de los spoilers también está diseñada para contrarrestar el empuje ascendente. Cuanto mayor sea el tamaño, mayores serán la carga aerodinámica generada y el aumento del agarre de los neumáticos traseros.



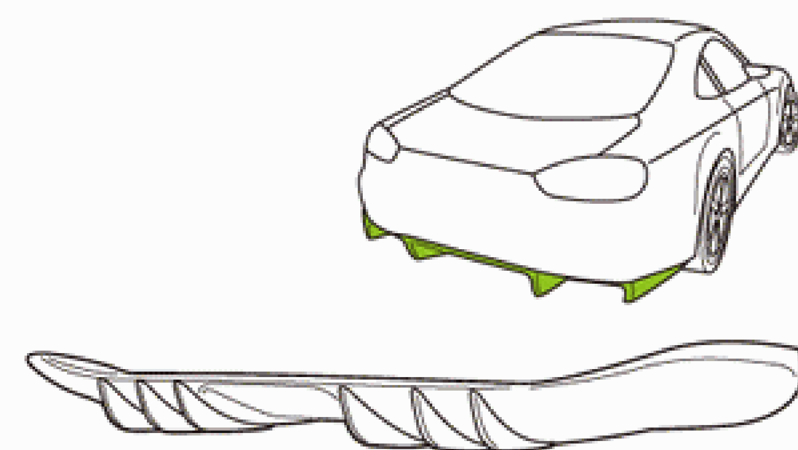
## Alerón lateral

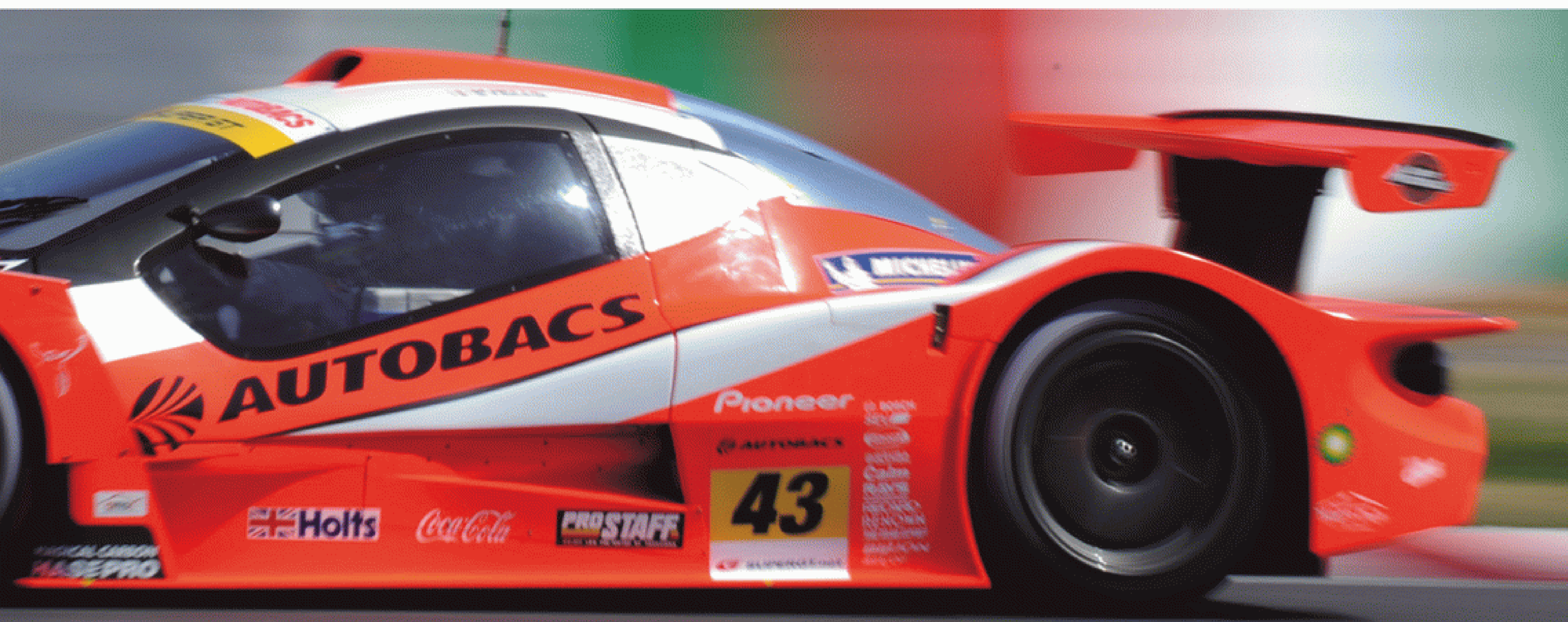
También denominados faldones o estribos laterales; se montan en los apoyos a ambos lados de la carrocería. Reducen la resistencia aerodinámica que tiene lugar en los laterales del auto.



## Difusor trasero

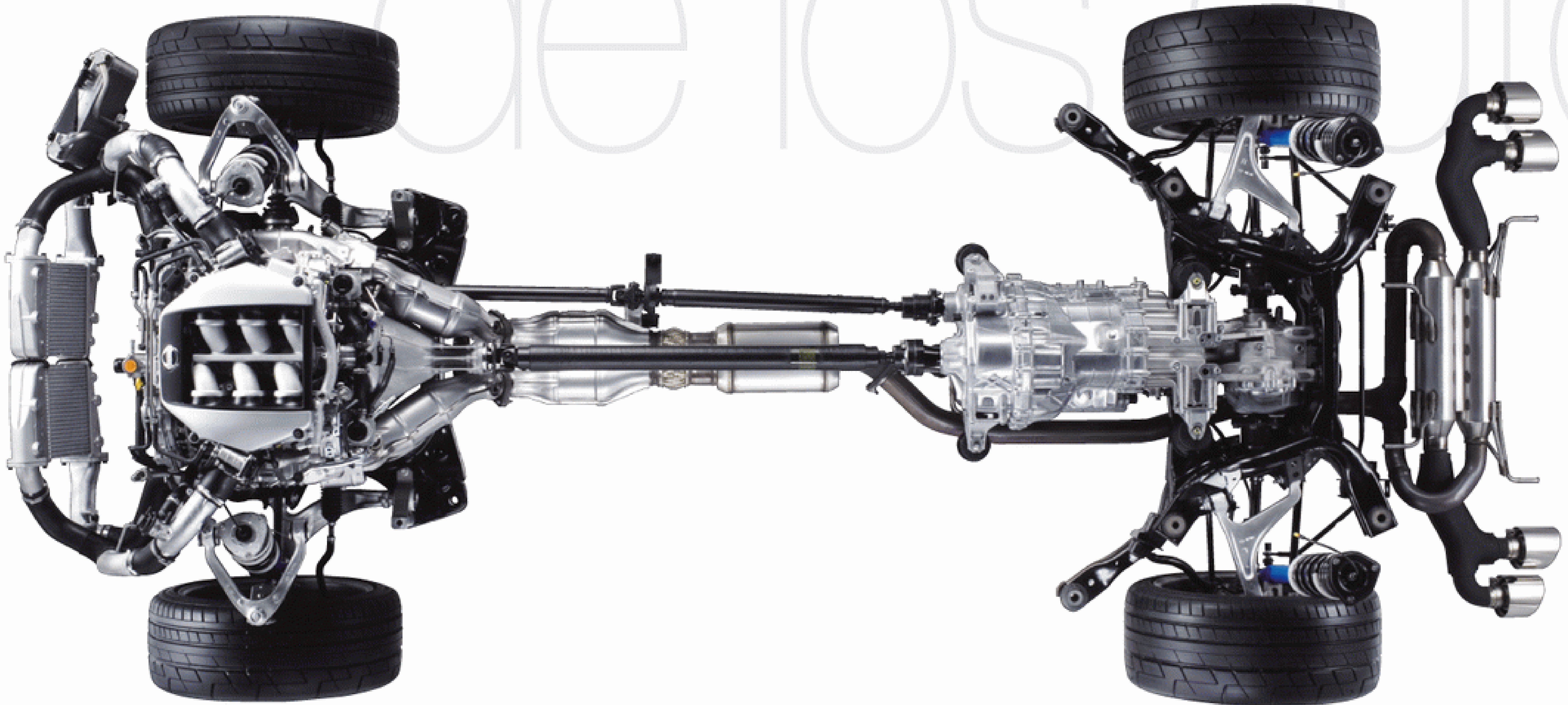
Los difusores traseros se colocan debajo del parachoques trasero y generan presión negativa sacando el aire de la parte inferior del auto con eficiencia, lo que aumenta la carga aerodinámica. A menudo se utilizan en autos de carreras y cuanto menor es el espacio entre el difusor y el camino, mayor es el efecto.





# Cambio de los ajustes según las características de los autos

**Los ajustes posibles al modificar un auto son tan variados como los autos en sí mismos. Entre las diferencias que pueden existir entre los autos, el esquema del tren de transmisión puede ser la que mayor efecto tenga en el manejo y el comportamiento del vehículo. Es importante comprender la manera en que los diferentes esquemas se comportan antes de realizar cualquier ajuste.**



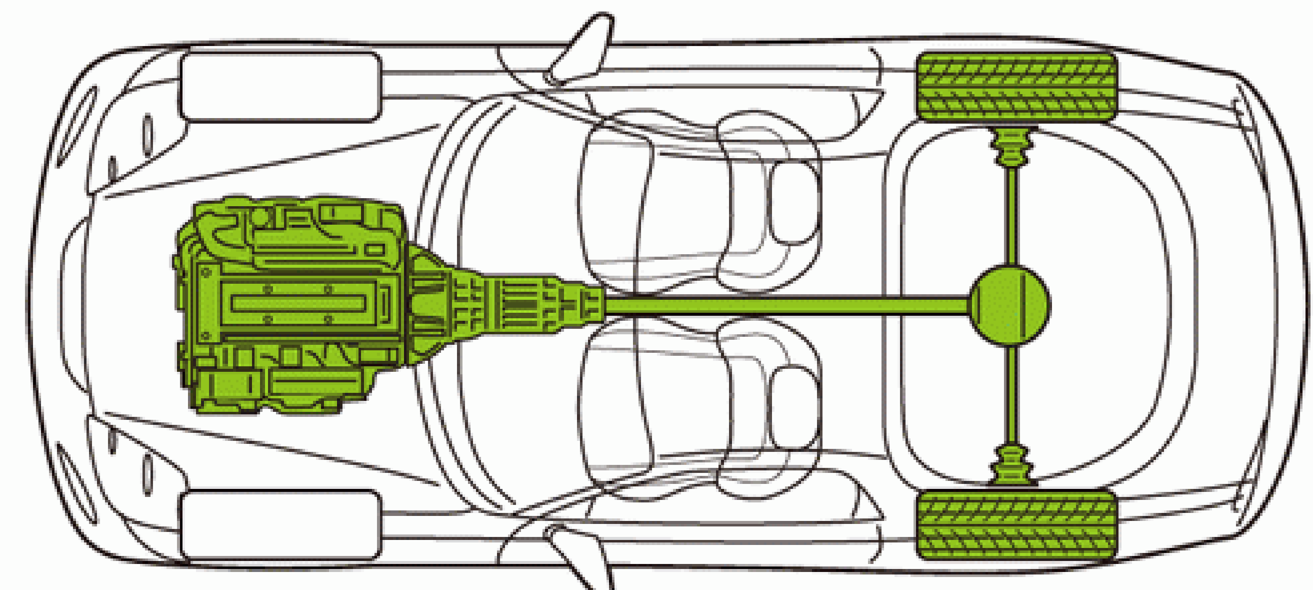
## Esquema del tren de transmisión

El esquema del tren de transmisión hace referencia a la ubicación del motor (la parte más pesada del auto) y las ruedas a las que el motor proporciona su potencia. Los diferentes esquemas de trenes de transmisión tienen diferentes beneficios y desventajas, e incluso en autos deportivos muy modificados el tipo de tren de transmisión es un factor fundamental, ya que tiene un efecto directo en el manejo y el comportamiento del auto. Modificar el esquema del tren de transmisión es difícil, pero es posible en lugar de ello retocar un esquema en particular para resaltar los aspectos positivos y al mismo tiempo suprimir los negativos. Una configuración que explote y mejore de manera inteligente las características el esquema del tren de transmisión, de la suspensión y de la aerodinámica existentes puede propiciar una experiencia de manejo que se diferencie respecto de la norma.

### FR

Si se logra una buena distribución del peso, un auto FR ofrece una magnífica capacidad en curvas y estabilidad.

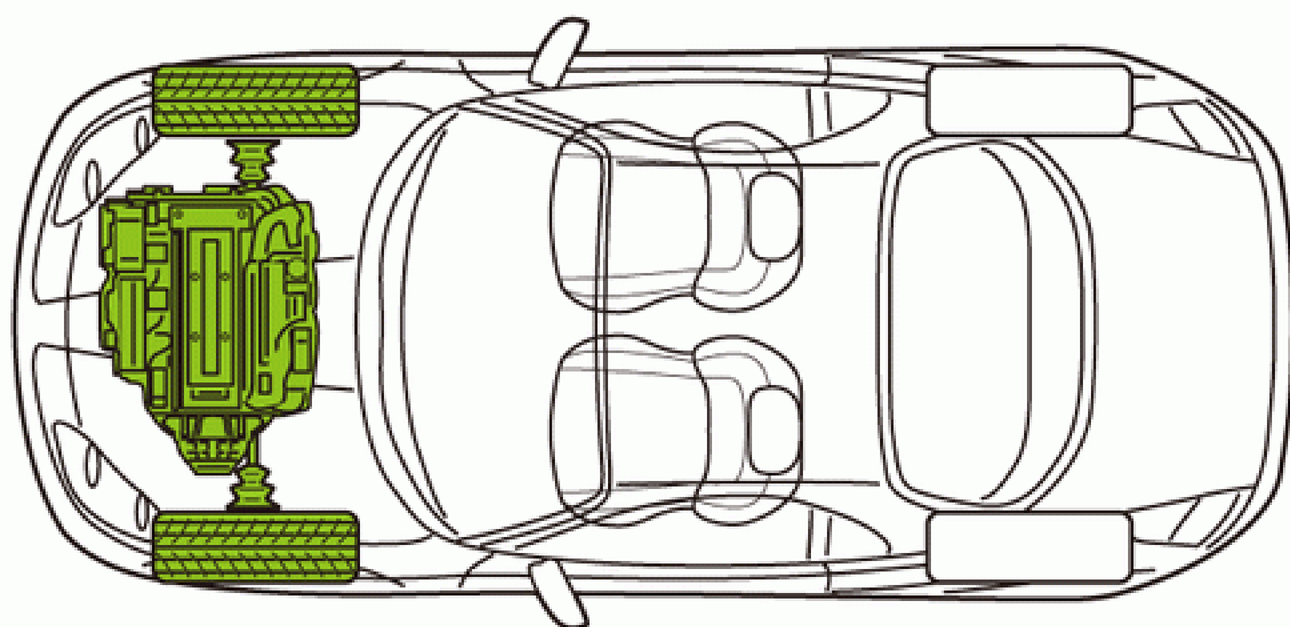
Si quieres ir más rápido, es una buena idea realizar modificaciones para aumentar la tracción en las ruedas traseras, de modo que la cola no se deslice hacia afuera durante la aceleración. Por otra parte, el frente se debe modificar para que no sea propenso a experimentar una condición de "subviraje con empuje" que evitará que el auto siga la línea de conducción deseada, una vez más, cuando la carga de la parte delantera se reduzca durante la aceleración.



# Compensación de puntos débiles, mejoramiento de los puntos fuertes

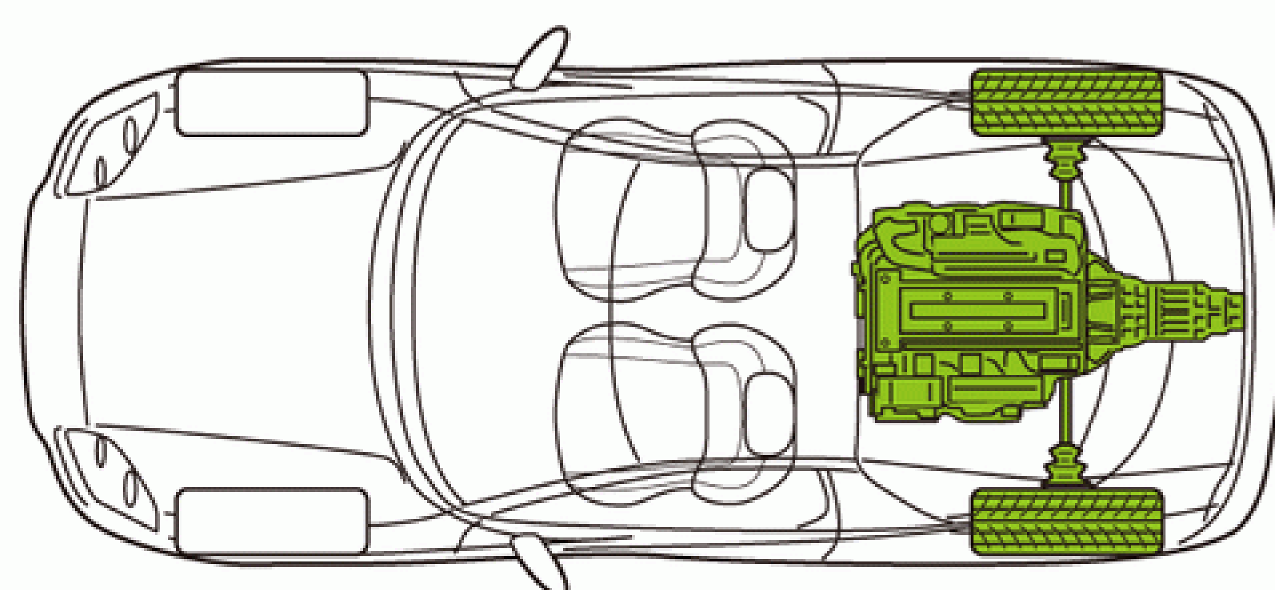
## FF

En autos FF, las ruedas delanteras (que cumplen tanto la función de dirección como de tracción) tienden a atraer toda la atención, aunque no hay que olvidarse de la parte trasera. En un circuito de alta velocidad, la parte trasera se debe configurar para brindar más estabilidad, mientras que en una pista con muchas curvas, lo ideal es permitir que la parte trasera se deslice hacia afuera con mayor facilidad cuando se suelta el pedal, lo que brinda una mayor capacidad en curvas. Generalmente, los autos FF usan un diferencial de desplazamiento limitado de 1 vía que solo se activa al acelerar.



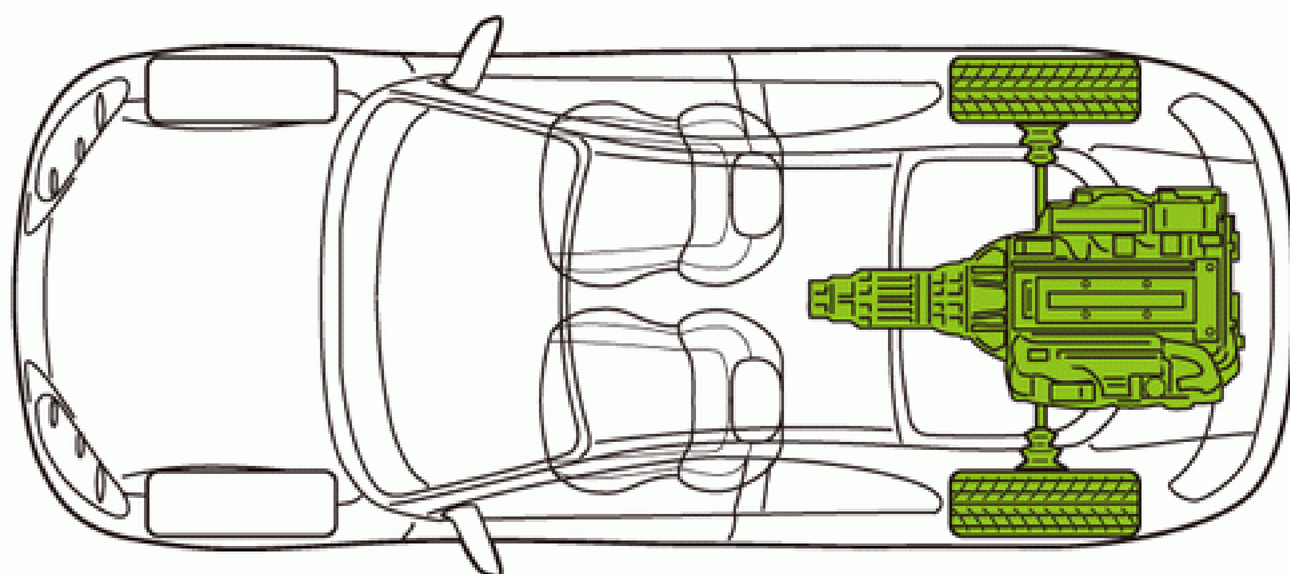
## MR

El posicionamiento del motor hacia el centro del auto permite una buena aceleración y deceleración. El viraje también es marcado, pero cuando se lleva al límite, la carga más pequeña en la parte frontal puede generar subviraje. La velocidad a la que el extremo trasero se desliza es también muy alta y difícil de controlar. Cuando se realiza una modificación, se debe prestar atención para asegurar el rendimiento al entrar en las curvas y mejorar la tracción cuando se acelera para salir de una. La carga aerodinámica delantera y trasera también se deben equilibrar con cuidado.



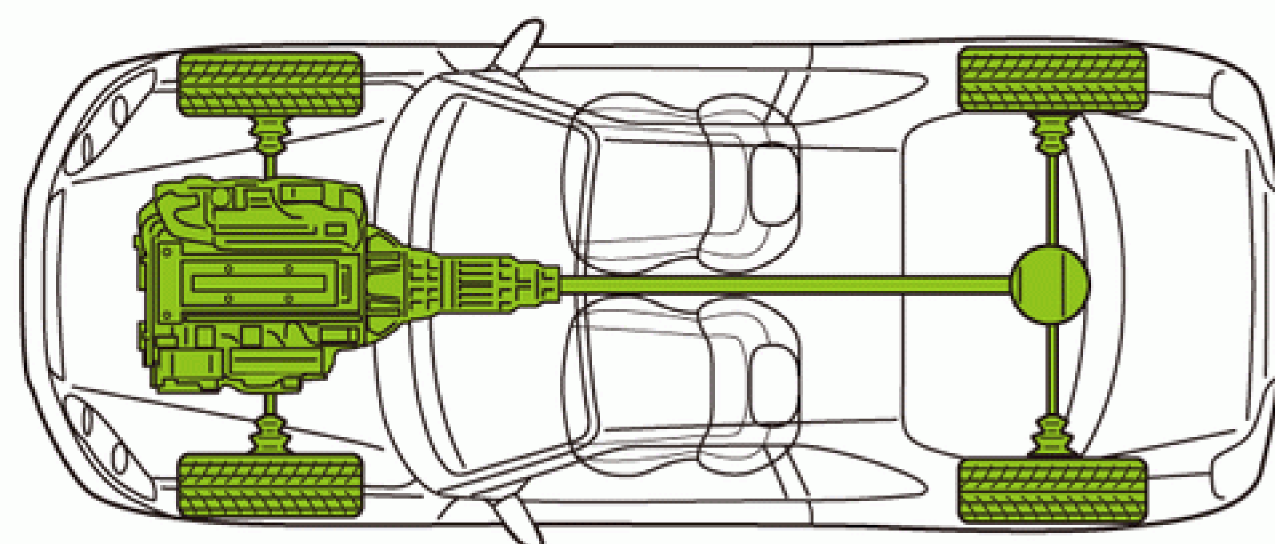
## RR

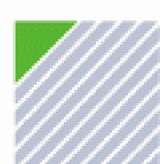
La combinación de un motor montado en la parte trasera con tracción trasera proporciona una excelente aceleración y desaceleración, pero esto resta aún más peso en la parte frontal que un esquema de motor central y tracción en las ruedas traseras (MR), con lo que el subviraje al tomar curvas es aún más pronunciado. A su vez, cuando se fuerce hasta el límite en una curva, el pesado extremo trasero actuará como un péndulo que se balanceará y ocasionará sobrevirajes repentinos. La modificación de este esquema de tren de transmisión corresponde generalmente a casos de mejoramiento de la capacidad inicial de doblar al tomar curvas.



## T4R

Según el esquema de tren de transmisión en el que se base la tracción integral, el auto se comportará de manera diferente, aunque, en términos generales, el viraje en un vehículo con tracción integral es más difícil debido a su estabilidad extremadamente alta. Para empezar, la estabilidad durante la aceleración al virar es extremadamente buena, de modo que las configuraciones deberían centrarse en la capacidad de viraje en la entrada inicial a una curva. Los LSD que se usan en estos autos son generalmente de una vía en la parte delantera y dos vías en la trasera.





AJUSTES

CAPÍTULO 03 Modificación y ajustes

# Ajustes básicos parte-por-parte

**La simple instalación de piezas de alto rendimiento no hará que tu auto sea más rápido. Realizar ajustes considerando el equilibrio total del auto es el único modo de aprovechar el potencial completo de cada componente y mejorar el rendimiento total de un vehículo.**

## Suspensión
**[Altura de conducción/Índice de elasticidad]**

### Cambio del comportamiento de tu auto

Si las condiciones de la carretera son buenas y la superficie es plana, cuanto más baja sea la distancia entre la carrocería y el suelo, más bajo será el centro de gravedad. Esto reduce el cabeceo durante la aceleración y la desaceleración, además del balanceo en las curvas, lo que mejora el rendimiento general. El comportamiento del auto también se puede modificar con más detalle al ajustar la suspensión delantera y trasera a alturas diferentes. Por ejemplo, al hacer que la suspensión delantera esté más baja que la trasera se logra que las ruedas delanteras presionen la calle con más fuerza al entrar en una curva y que el auto gire más suavemente. En los autos FF, esto también se puede usar para contrarrestar la tendencia que tiene la parte delantera del auto a elevarse durante la aceleración.

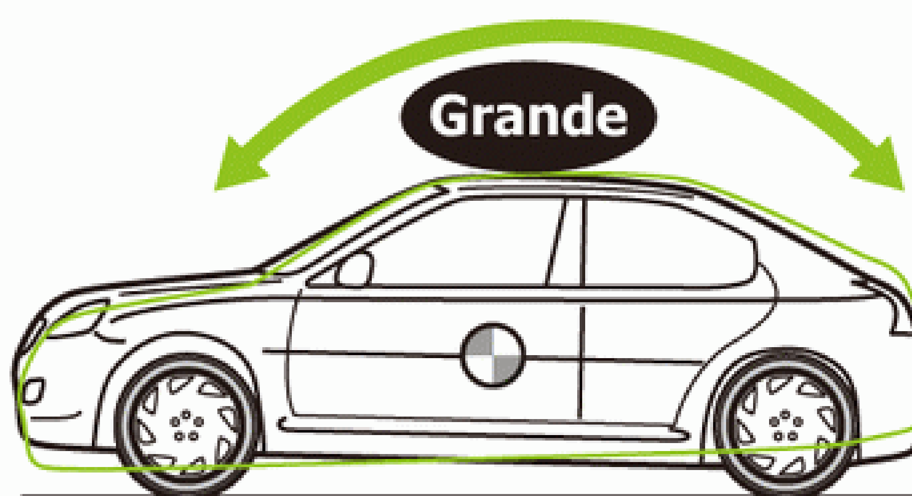
El índice de elasticidad también tiene un gran impacto en la manera en la que se mueve un auto. A menudo se piensa que, cuanto más duros los resortes, mejor, pero este no siempre es el caso. Los resortes más duros pueden reducir los movimientos de conducción desfavorables, como el cabeceo, la desviación y el balanceo, de la misma manera que lo puede hacer la reducción de la altura de conducción; pero, si estos son demasiado duros, el retroimpacto de la superficie de la carretera se incrementará hasta un punto en el que será difícil que los neumáticos permanezcan en contacto con el suelo y se perderá la tracción. Por esta razón, el índice de elasticidad se debe calibrar cuidadosamente para que no sea demasiado justo o demasiado flojo para tus necesidades.

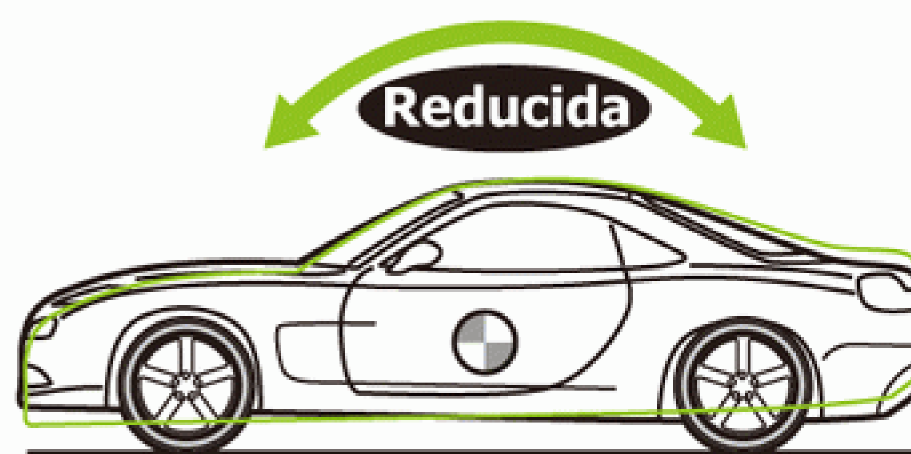
El índice de elasticidad también tiene un gran impacto en la conducción. Aumentar este índice en la parte delantera puede resultar en subviraje y, al mismo tiempo, aumentar el índice en la parte trasera puede aumentar el sobreviraje. Sin embargo, esto también se ve afectado por la fuerza del impacto, de modo que el efecto combinado de ambos se debe tener en cuenta al determinar la configuración de la suspensión.









# Balancear correctamente la suspensión delantera y trasera

## Suspensión
**[Fuerza de amortiguación]**

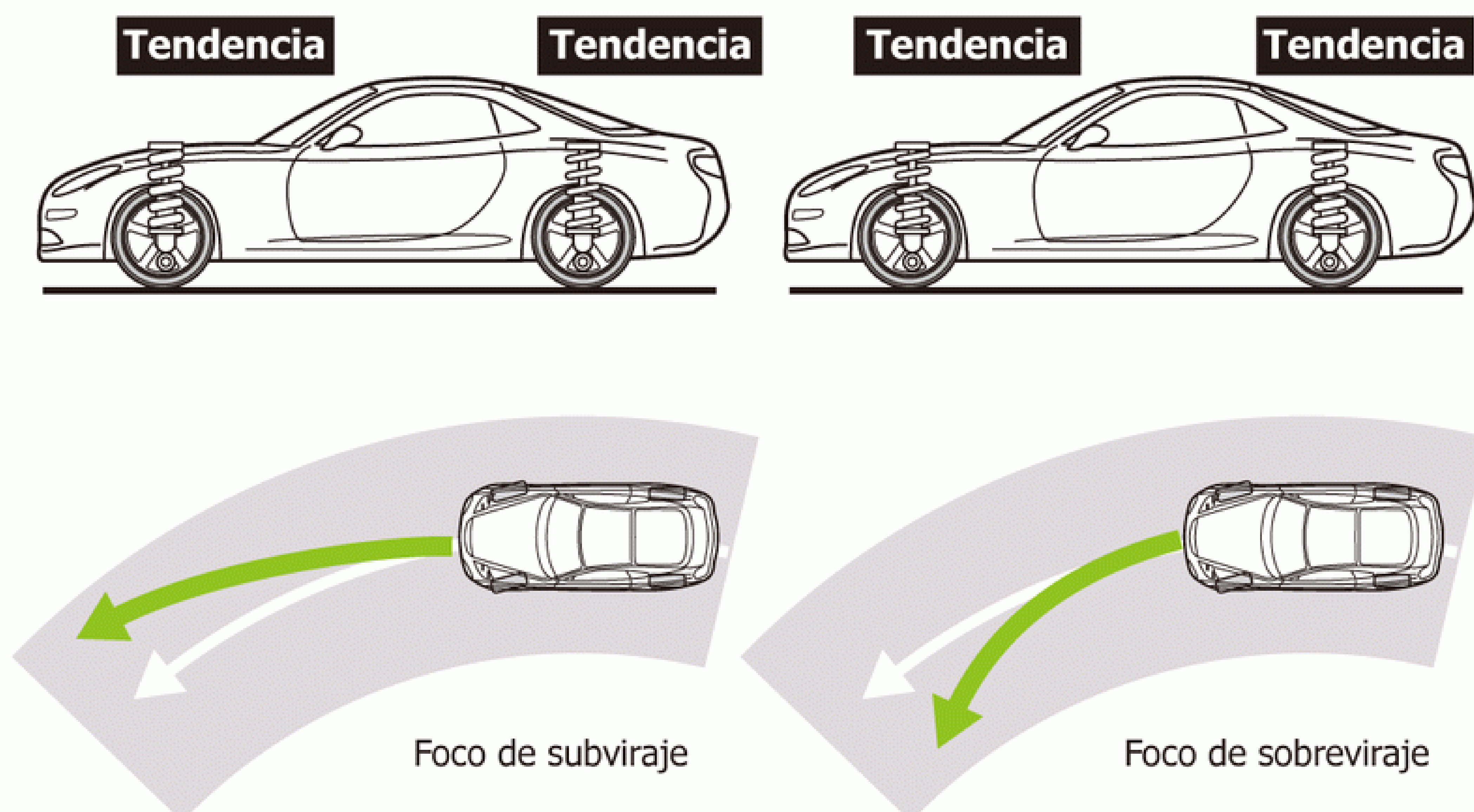
### Control de la compresión y la extensión de los resortes

Los amortiguadores controlan la velocidad a la que se expanden y se contraen los resortes de la suspensión cuando se coloca un peso sobre ellos, y la fuerza que estos ejercen se conoce como "fuerza de amortiguación". La fuerza de amortiguación se genera por la resistencia creada en el aceite o en el gas sellado dentro del pistón del amortiguador cuando este se mueve hacia arriba y hacia abajo. Cuanto más alta sea la fuerza de amortiguación, más rápido se suprimirá el movimiento del resorte; cuanto más baja sea la fuerza de amortiguación, más tiempo llevará para que disminuya el movimiento de los resortes.

Los ajustes de la fuerza de amortiguación para compresión y la extensión se pueden cambiar independientemente, lo que permite que se controlen el comportamiento y la conducción del auto de manera más precisa. Si se aumenta la fuerza de amortiguación para la compresión de los resortes, se reducirán la velocidad de bajada de la trompa durante el frenado, el balanceo en las curvas y otros movimientos de la carrocería, pero la rigidez incrementada del chasis aumentará las probabilidades de que las ruedas se despeguen en carreteras con baches y dificultará la transferencia de la carga de manera efectiva. Por otro lado, la fuerza de amortiguación para la extensión de los resortes ayuda a reducir grandes cambios en el movimiento. Por ejemplo, elimina la elevación de la trompa del auto al acelerar en la salida de una curva e impedir que la suspensión se extienda inmediatamente, lo cual mantiene el contacto de las ruedas delanteras con el suelo.

Las características de manejo también se pueden ajustar mediante el cambio de la fuerza de amortiguación para la compresión/extensión de los resortes entre las ruedas delanteras y traseras. Si la fuerza de amortiguación se reduce para la compresión de los resortes en la parte delantera del auto, aumentará la carga en el frente durante los giros y se mejorará el agarre en la parte delantera y se contrarrestará el subviraje. La reducción de la fuerza de amortiguación para la extensión de los resortes en la parte trasera aumentará el sobreviraje y, al mismo tiempo, el aumento de la fuerza aumentará el subviraje. Como regla empírica, la fuerza de amortiguación para la compresión de los resortes se debe ajustar antes de la fuerza de amortiguación para la extensión de los resortes.

**Fuerza de amortiguación delantera y trasera (para la compresión de los resortes)**



# Suspensión

**[Alineación de las ruedas: Ángulo de curvatura]**

## El efecto positivo del peralte negativo

El ajuste de alineación de las ruedas que se altera más a menudo es el ángulo de peralte. Se produce un peralte negativo cuando las partes inferiores de las ruedas están más separadas que las partes superiores si se las mira desde el frente, y se produce un peralte positivo cuando las partes inferiores de estas apuntan hacia el centro del auto.

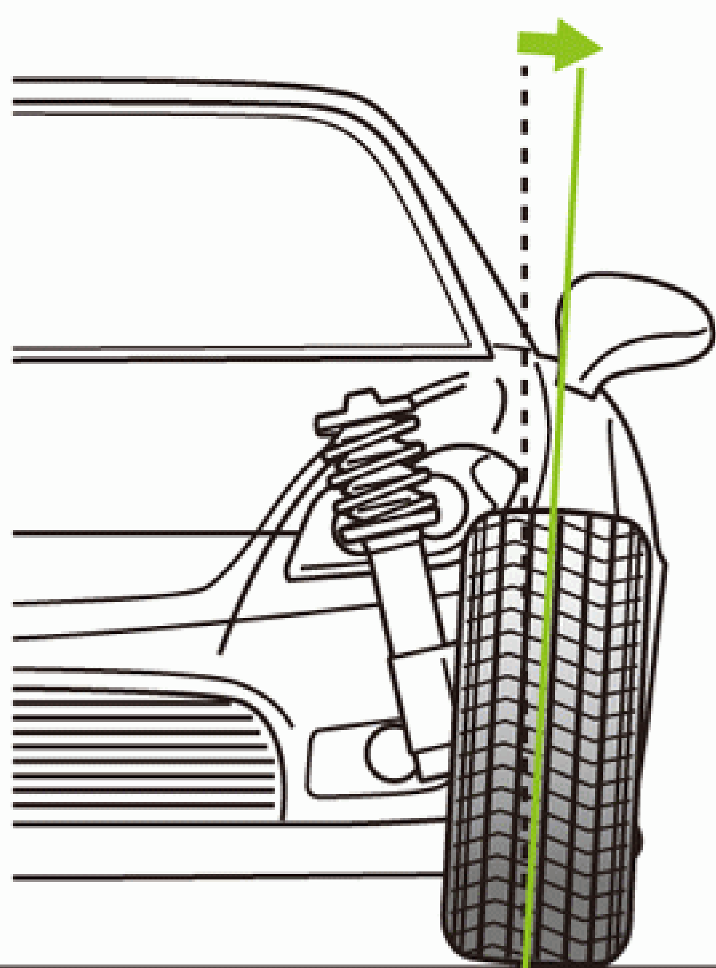
En las curvas, la fuerza centrífuga hará que el auto se incline hacia la parte exterior de la curva. Si, de manera anticipada a este fenómeno, se brinda un peralte negativo a las ruedas, una mayor superficie del neumático estará en contacto con la calle durante el giro, y se podrá lograr una mejor tracción. "Aumento del ángulo de peralte" generalmente implica aumentar el peralte negativo.

Sin embargo, un peralte negativo tiene desventajas cuando se viaja en línea recta. Los neumáticos no se apoyan verticalmente sobre la carretera, de modo que la dirección puede verse afectada por los surcos o las irregularidades en la superficie de la carretera, y puede ser más difícil ganar tracción. El ángulo de las ruedas también aumentará la resistencia, lo que impedirá el rendimiento en la aceleración, y el punto de contacto menor de la superficie del neumático con el suelo también aumentará las distancias de frenado. Cuanto más agudo sea el peralte negativo, más severos serán los efectos negativos en la recta, de modo que es importante pensar con mucho cuidado antes de realizar cualquier cambio drástico.

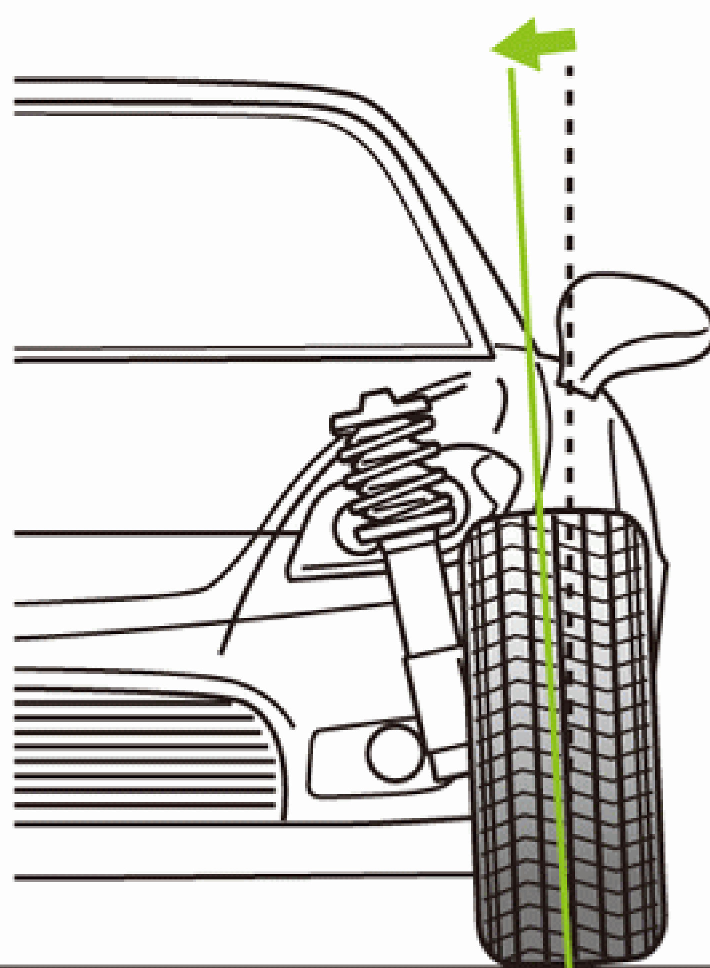
Al aplicar el peralte negativo, es importante considerar el efecto del balance del peso entre las ruedas delanteras y traseras al tomar las curvas. Si hay mucho peso en la parte delantera del auto, el peralte negativo de las ruedas delanteras tiene que ser mayor y el de las ruedas traseras tiene que ser menor. Esto reducirá el riesgo de subviraje.

Casi nunca se utiliza un peralte positivo, ya que reduce el agarre de los neumáticos y hace que el auto tenga movimientos hipersensitivos.

**Curvatura positiva**

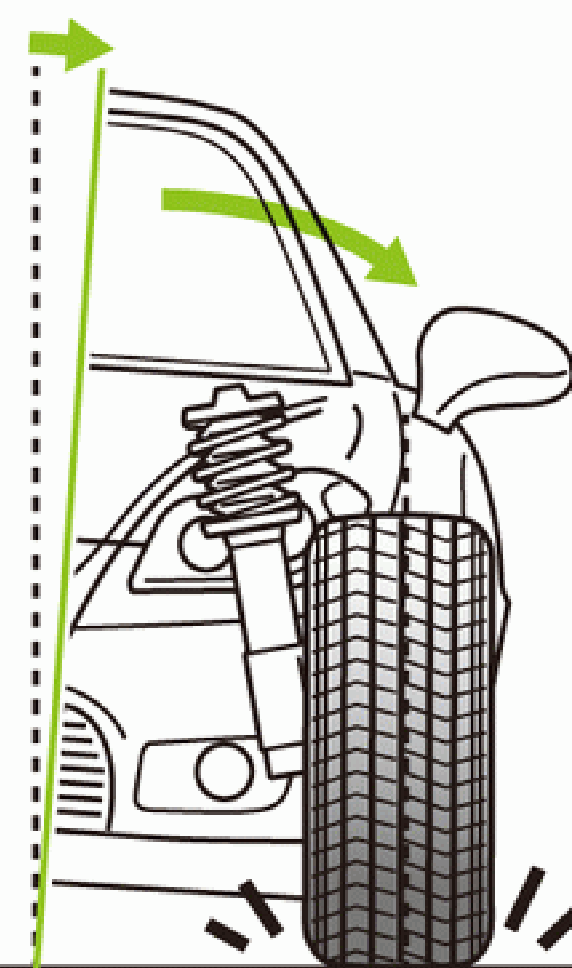


**Curvatura negativa**

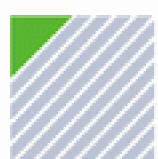


**Balanceo en las curvas**

El peralte negativo aumenta el agarre en las curvas



# Cómo lograr un agarre óptimo



# Suspensión

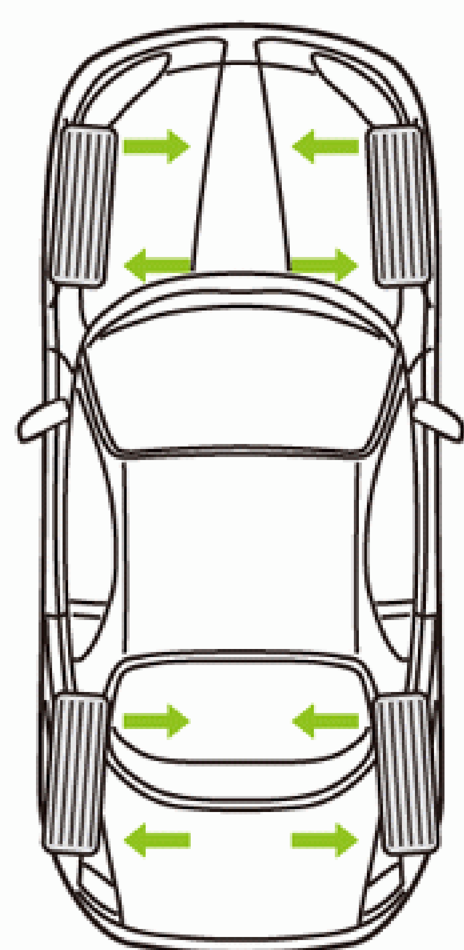
## [Alineación de las ruedas/Ángulo de convergencia]

### Un ángulo superficial con un efecto profundo en la estabilidad

El ángulo de convergencia es el ángulo que forman las ruedas cuando se mira el auto desde arriba. Juega un rol importante para mantener la estabilidad cuando el balance del peso entre los lados izquierdo y derecho cambia drásticamente. Por ejemplo, cuando la carga se mueve hacia la rueda exterior en las curvas, el ángulo de esa rueda tiene un efecto enorme en el comportamiento del auto. El ajuste del ángulo de convergencia fija este ángulo y juega un rol importante para que se mantenga la estabilidad.

En la "convergencia", la parte delantera de las ruedas está dirigida hacia adentro. En la "divergencia", la parte delantera de las ruedas está dirigida hacia afuera. En términos de manejo, si se ajustan las ruedas delanteras de manera convergente y las ruedas delanteras de manera divergente, se producirá una tendencia superior al sobreviraje, mientras que el ajuste opuesto producirá una tendencia al subviraje. A veces, las ruedas delanteras también se ajustan de manera divergente para que estas se muevan de manera menos errática en las curvas.

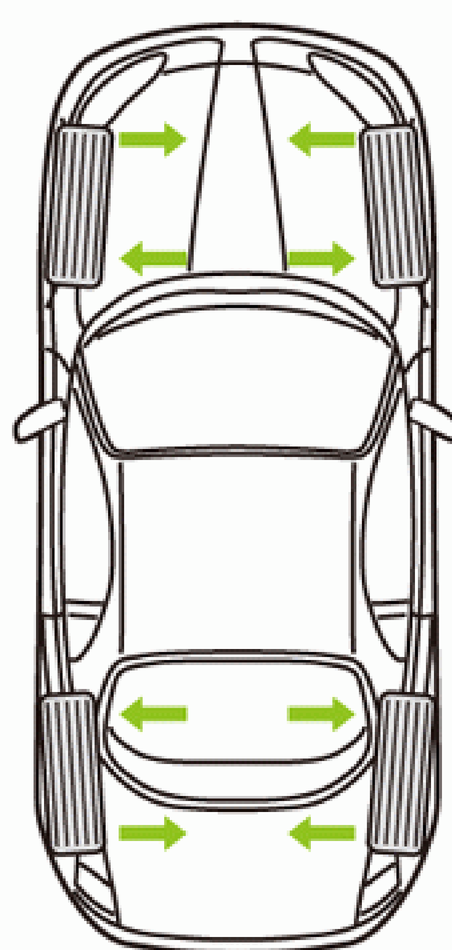
El ángulo de convergencia tiene una relación muy compleja con la distancia entre ejes, el ancho de rodadura y la potencia del motor. A menudo, es lo último que se ajusta y solamente para corregir pequeñas anomalías causadas por los otros factores o para retocar sutilmente las características de manejo. Un ángulo de convergencia agudo producirá mucha resistencia, de modo que los ajustes siempre deben ser muy pequeños. Los cambios en el ángulo de convergencia de las ruedas traseras, en particular, pueden tener un gran impacto en el rendimiento de la conducción y en el manejo, de modo que el ángulo de las ruedas delanteras a menudo se ajusta primero, y solo se realizan ajustes muy pequeños en las ruedas traseras.



F Convergencia

Respuesta delantera
→ Alta
tendencia al subviraje

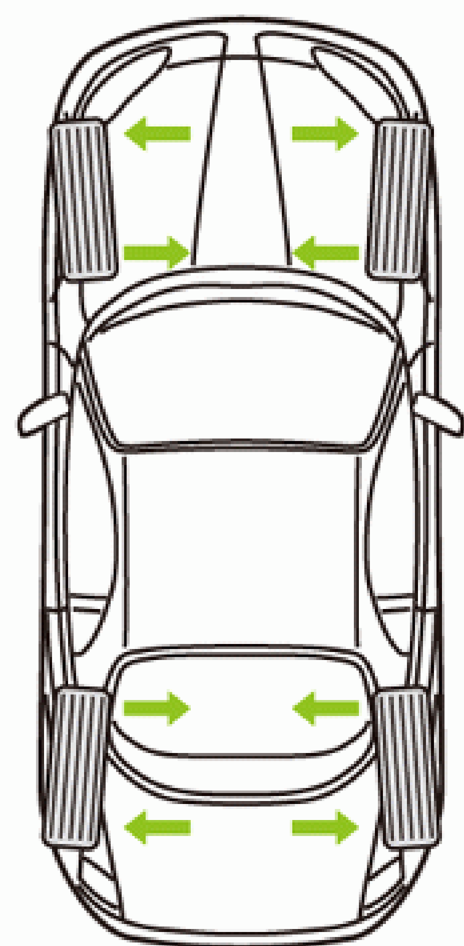
R Convergencia



F Convergencia

Respuesta delantera
→ Alta
alta al sobreviraje

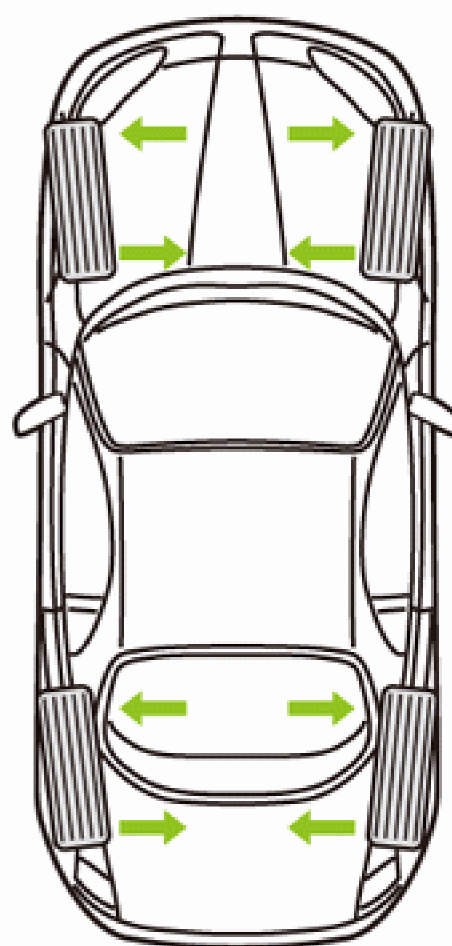
R Divergencia



F Divergencia

Respuesta delantera
→ Baja
tendencia al subviraje

R Convergencia



F Divergencia

Respuesta delantera
→ Baja
alta al sobreviraje

R Divergencia

# Suspensión

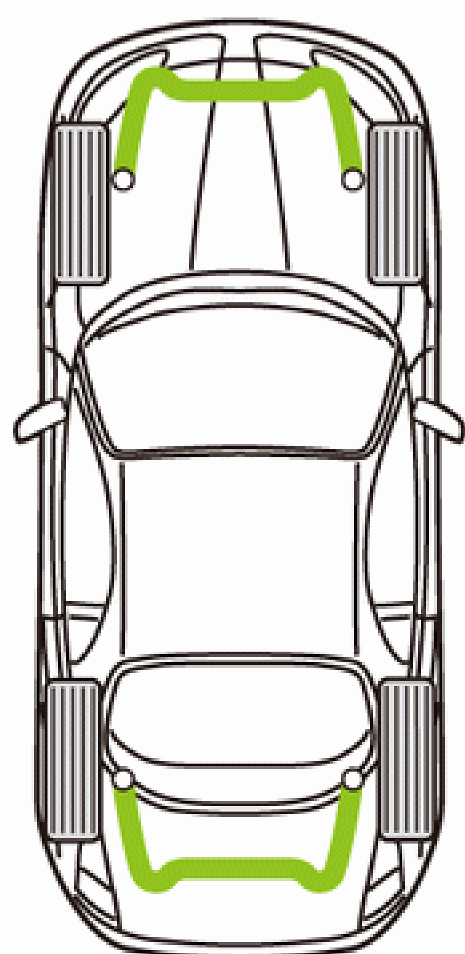
## [Barra estabilizadora/Rigidez del estabilizador]

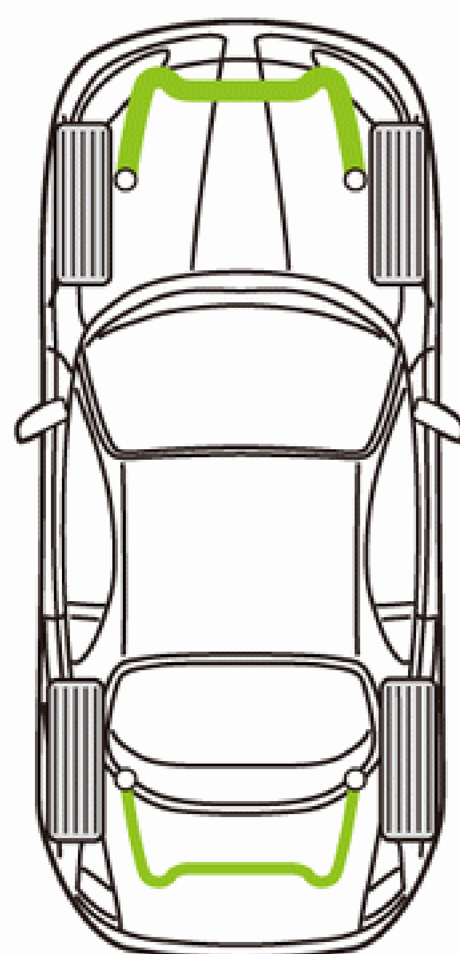
### Un toque final

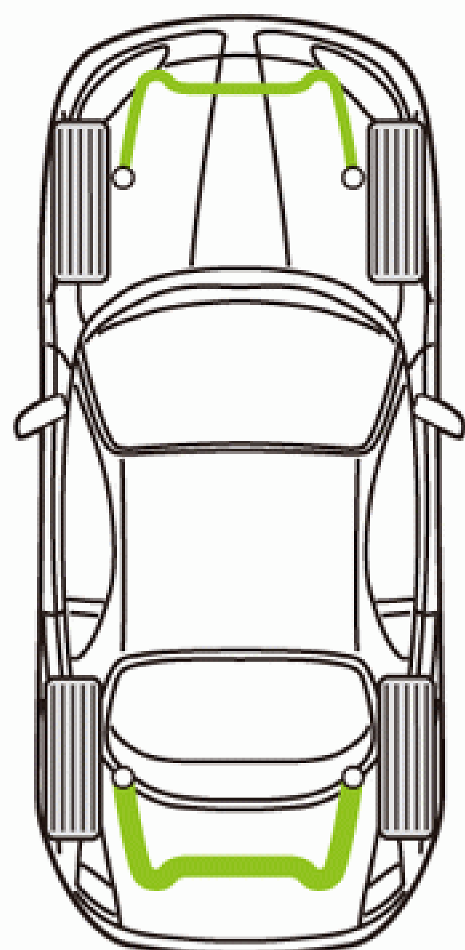
Una barra estabilizadora es un resorte de barra de torsión que conecta los brazos inferiores de la suspensión izquierda y derecha. Un resorte de barra de torsión es una barra de metal que utiliza la resistencia de la fuerza de torsión que se ejerce sobre esta. Cuando la suspensión de un lado se mueve al tomar una curva, la resistencia de la suspensión en el otro lado contrarresta ese movimiento, lo que reduce el balanceo y, por lo tanto, mantiene una mayor superficie del neumático en contacto con el suelo. La rigidez de esta barra es representada por un índice de elasticidad similar al del resorte de la suspensión y el aumento en la rigidez de la barra estabilizadora delantera mejorará la respuesta de la dirección.

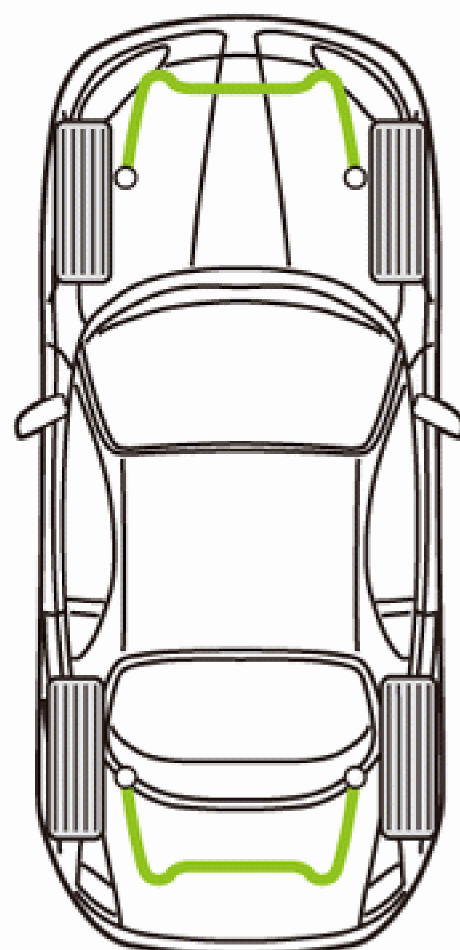
Al ajustar la barra estabilizadora, es importante que su índice de elasticidad no supere el del resorte de la suspensión. Si la barra estabilizadora es demasiado rígida, el resorte de la suspensión será demasiado débil para superar la fuerza ejercida por esta y, cuando el peso se mueva hacia la rueda exterior, la suspensión interior se elevará junto con la barra estabilizadora, lo que hará que la parte interior de la rueda se eleve de la pista y se pierda la tracción.

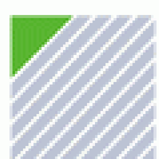
También es posible ajustar el manejo mediante la alteración de los índices de amortiguación de las barras estabilizadoras delanteras y traseras; pero estos tipos de ajustes deben realizarse a menudo mediante el cambio del índice de elasticidad de los resortes de suspensión y de la fuerza de amortiguación de los amortiguadores solamente. Agregar rigidez de la barra estabilizadora a la ecuación complica demasiado las cosas y hace que sea muy difícil alcanzar el resultado deseado. Los ajustes en la rigidez de la barra estabilizadora se deben considerar como un retoque final en lugar de un método de puesta a punto.





# Tracción
[LSD]

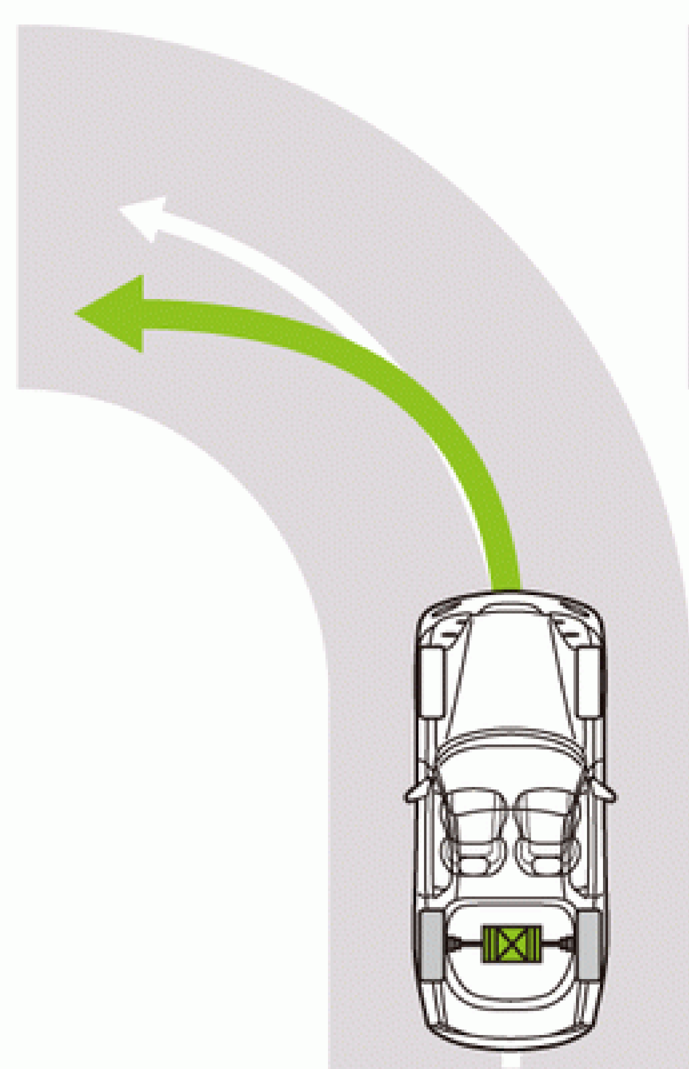
## La modificación del límite cambia la maniobrabilidad

El par motor inicial decide el punto en el que se acciona el diferencial de desplazamiento limitado (LSD). Cuanto más alto sea, más fácil se trabará el LSD y la aceleración tendrá una mayor respuesta. Cuanto más bajo sea el par motor inicial, más lento se accionará el LSD.

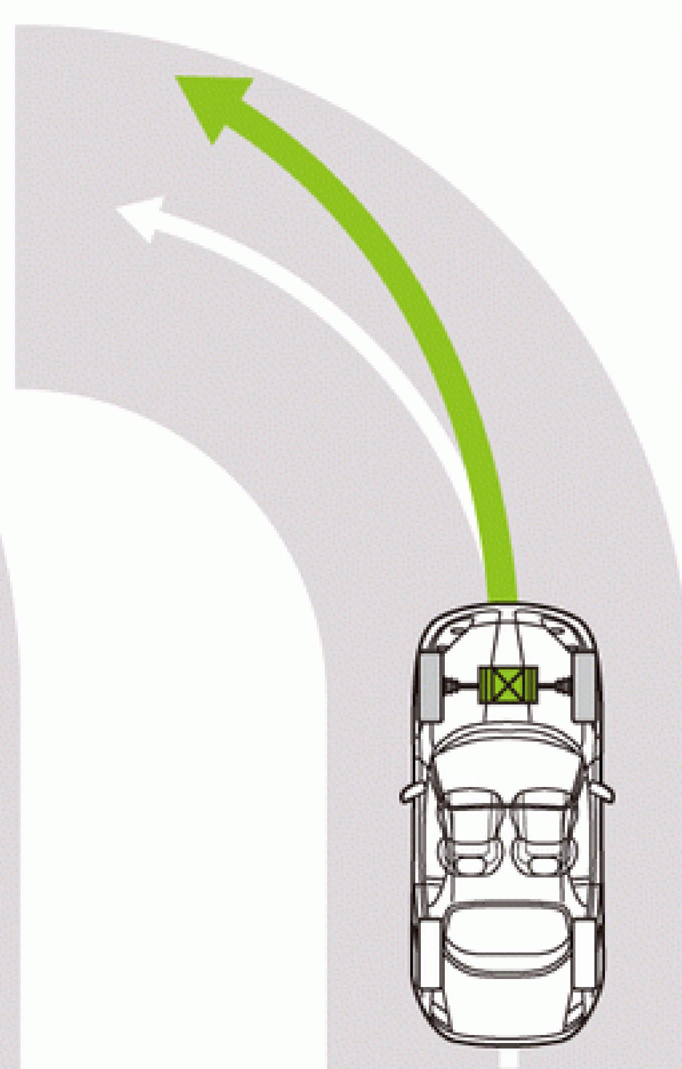
En términos generales, el aumento del par motor inicial acentuará las anomalías de manejo de la disposición del tren de transmisión de un vehículo. Por lo tanto, aumentará el sobreviraje en los autos con tracción trasera y el subviraje en los autos con tracción delantera. A pesar de que esto mejora la tracción en ambos casos, hará que el giro sea más difícil. Como tales, los ajustes de par motor iniciales se deben hacer teniendo en mente los requisitos de manipulación deseados.

Otro ajuste que se puede realizar es la manera en la que se comporta el LSD durante la aceleración y la desaceleración. El ajuste de aceleración controla la eficacia del LSD cuando se pisa el acelerador y, cuanto más fuerte se pisa este, mayor potencia de impulsión se transmite a las ruedas, y el auto puede tomar las curvas más rápidamente. Sin embargo, esto también acentúa las anomalías de manejo y lograr que el auto se dirija hacia la dirección necesaria para salir de la curva puede requerir una gran habilidad.

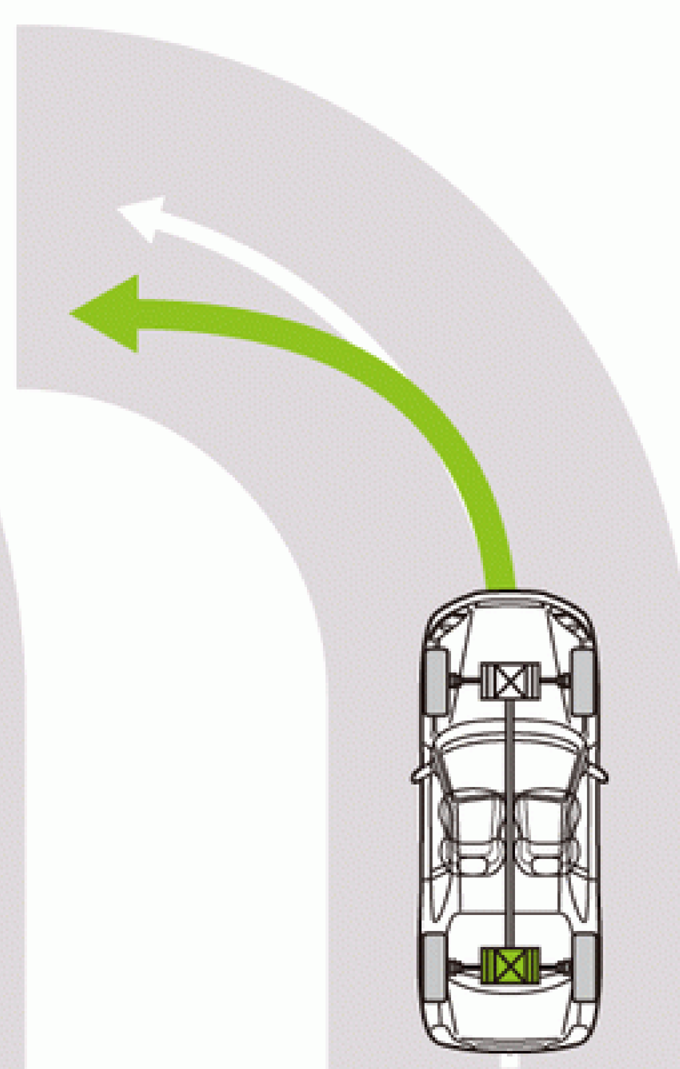
El ajuste de desaceleración controla la eficacia del LSD cuando se suelta el acelerador. Cuanto más fuerte sea, más estable será al entrar en una curva mientras se frena. Esto permite entrar a la curva muy rápido porque puedes seguir frenando más tiempo. Sin embargo, esto dificulta el giro y solo se recomienda para pilotos avanzados que tienen habilidad para compensar el subviraje inicial.



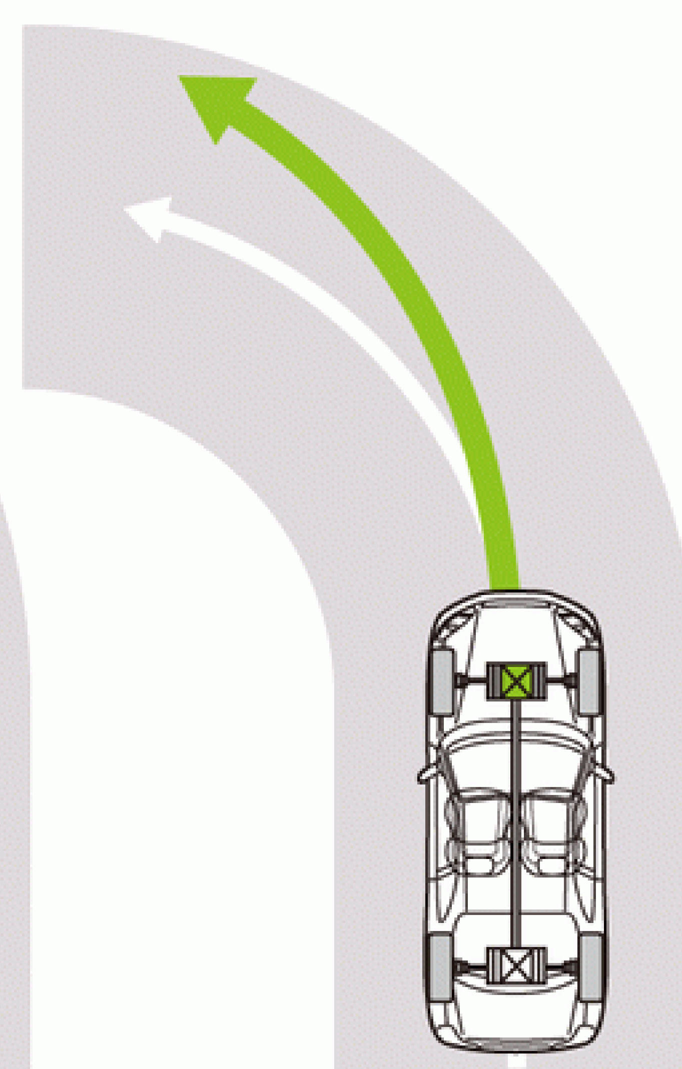
FR/MR/RR
Tendencia al sobreviraje



FF
Tendencia al subviraje



Tracción integral (trasera)
Tendencia al sobreviraje



Tracción integral (delantera)
Tendencia al subviraje

# Ajuste del comportamiento en curvas

# Tracción

## [Relación de las marchas]

### Cómo mantener la potencia con una relación corta

Los autos de carrera tienen que correr en todo tipo de circuitos, desde pistas sinuosas con muchas curvas hasta pistas que tienen rectas largas y de alta velocidad. Para obtener el mejor rendimiento de tu motor en un circuito particular, a menudo es necesario cambiar la relación de marchas de tu tren de transmisión. Comúnmente, esto implica cambiar la última marcha y las marchas de la transmisión misma.

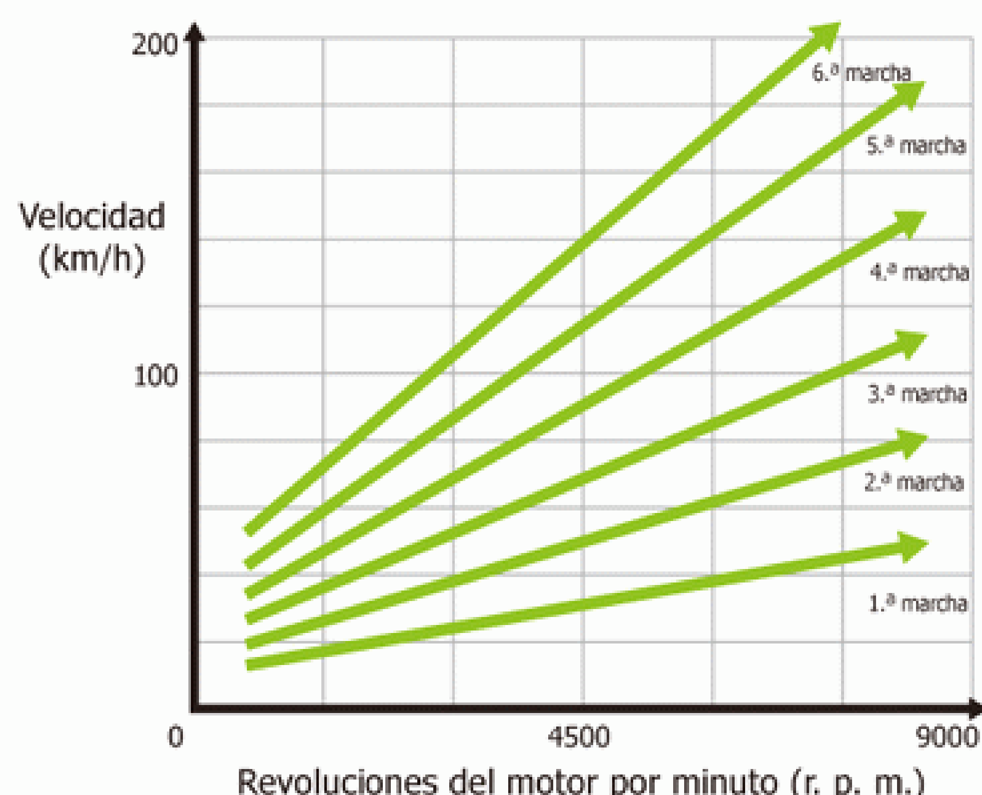
Cuando conduzcas en una pista con muchas curvas de velocidad baja y media, deberás concentrarte en la aceleración en la salida de las curvas en lugar de en alcanzar altas velocidades. En ocasiones como esta, una transmisión compuesta por engranajes de relaciones similares te permitirá permanecer más fácilmente en la pista. Este tipo de configuración de marchas se conoce como "relación corta".

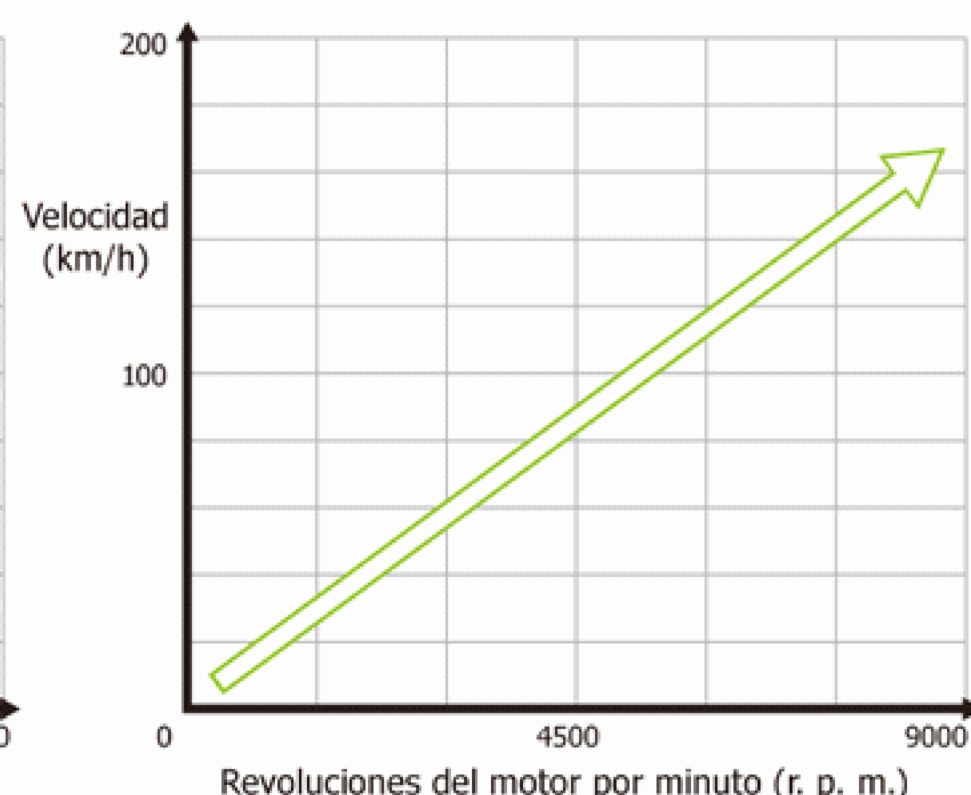
Por otra parte, en un circuito que tenga muchas rectas largas y que priorice la alta velocidad, te convendrá utilizar una configuración que aumente la velocidad alta usando relaciones más pequeñas para la quinta y sexta marcha. Este tipo de configuración de marchas se conoce como "relación larga".

La relación de marchas de la última marcha afecta la manera en que se comporta la transmisión en su totalidad. Si se achica la última marcha y se utilizan los mismos engranajes de transmisión, se mejorará la aceleración, pero se reducirá la velocidad máxima; mientras que una última marcha de mayor tamaño aumentará la velocidad máxima en perjuicio de la aceleración. La primera vez que ajustes los engranajes, deberías cambiar la última marcha para hacer un ajuste fácil. Debes configurar el engranaje para que el motor alcance el límite de revoluciones en la última marcha de la transmisión, justo al final de la recta de la pista.



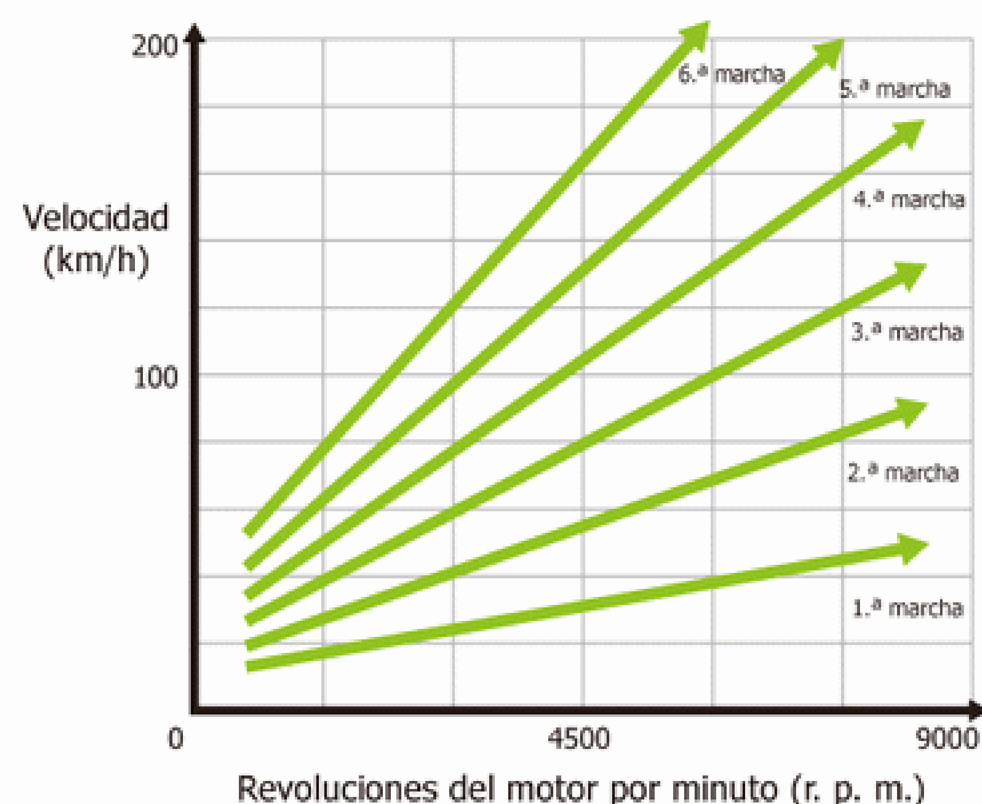
En un circuito con muchas curvas, la integración de las relaciones de todas las marchas pone énfasis en el rendimiento de la aceleración.

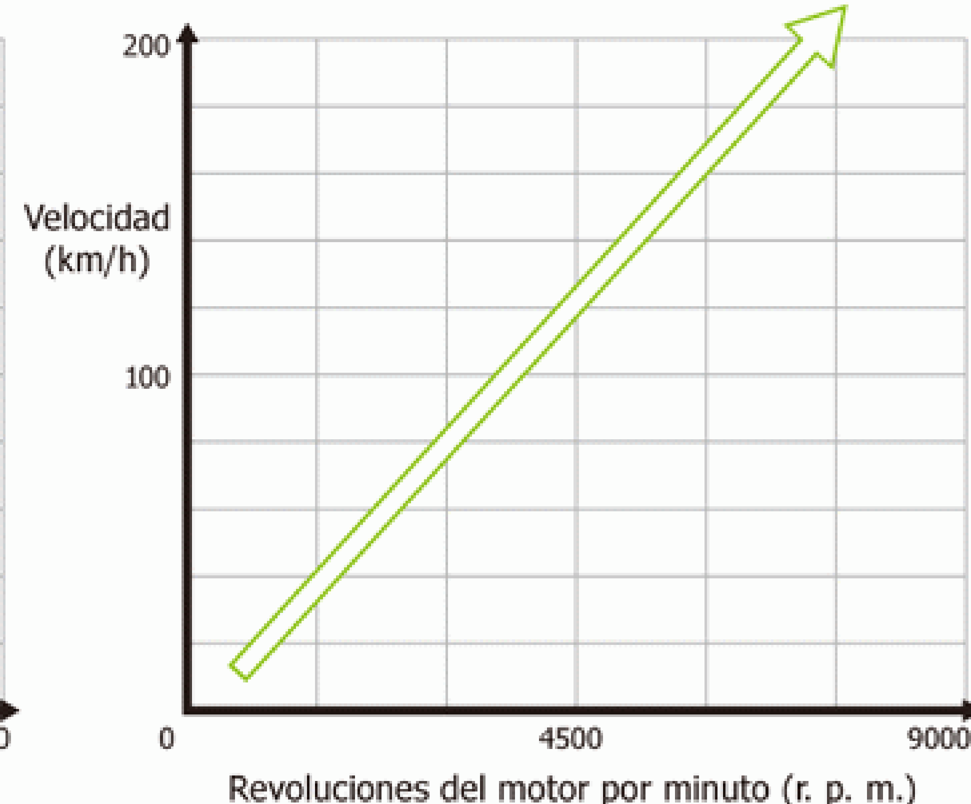


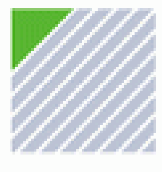






En los circuitos de alta velocidad con rectas largas, el aumento de las relaciones de las marchas se centrará en la velocidad máxima.





# Aerodinámica

**[Carga aerodinámica]**

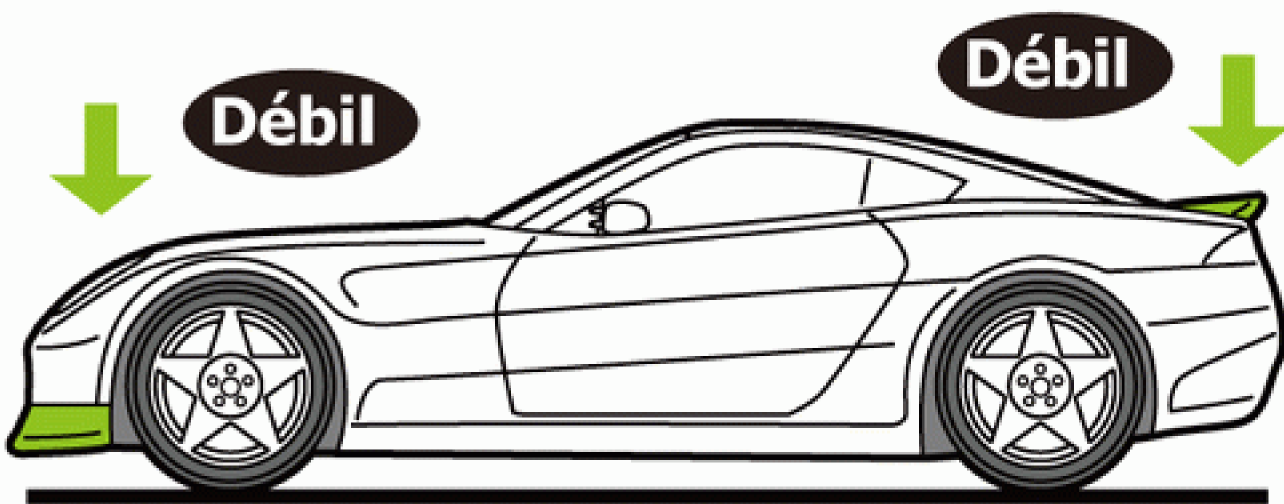
## Mejorar el rendimiento a alta velocidad

Es imposible ignorar los efectos del aire cuando se conduce a alta velocidad. Estos efectos se pueden dividir de manera general en dos categorías: la resistencia aerodinámica, que limita la velocidad máxima, y la sustentación, por la que el movimiento del aire hace que el auto se levante del suelo. Estos dos factores están íntimamente relacionados: reducir la resistencia aerodinámica hace aumentar la sustentación, mientras que reducir la sustentación hace aumentar la resistencia aerodinámica. Por lo tanto, se debe hacer un balance cuidadoso entre estos dos factores.

Una inquietud fundamental que debe tenerse en cuenta cuando se realicen modificaciones para manejar el movimiento del aire a alta velocidad es cuál es la mejor manera de explotar la carga aerodinámica. La carga aerodinámica es la fuerza ejercida cuando la resistencia aerodinámica empuja el auto hacia abajo, lo que mejora el contacto de este con el suelo. Si se aumenta la carga aerodinámica, se reduce la velocidad máxima, pero se aumenta la estabilidad y la velocidad al tomar curvas, especialmente en curvas de alta velocidad. Por otra parte, la reducción de la carga aerodinámica reducirá la velocidad de viraje, pero permitirá que el auto se mueva más rápidamente en la recta.

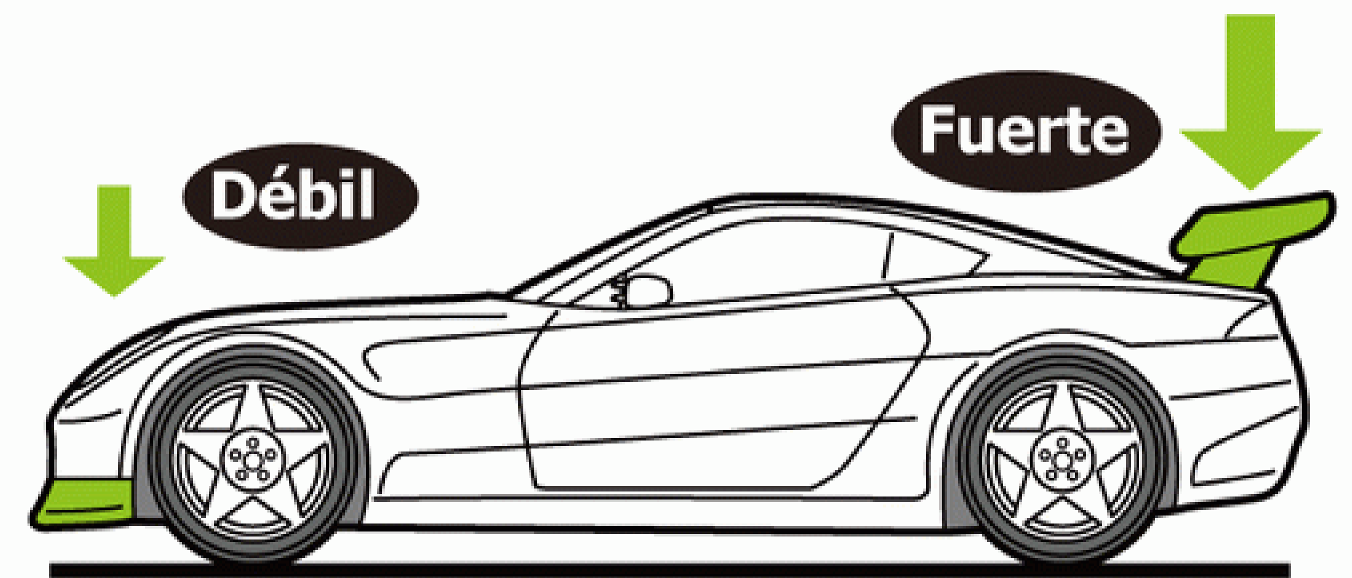
La carga aerodinámica necesaria es determinada por la naturaleza del circuito; aunque parezca lo contrario, tener una fuerte carga aerodinámica desde la partida no es una buena configuración. La manera ideal de poner a punto un auto es realizar varias configuraciones con carga aerodinámica mínima y, luego, aumentarla gradualmente según la importancia de las curvas de alta velocidad. Para autos de poca cilindrada, el mejor método es maximizar la velocidad final reduciendo la carga aerodinámica a cero.

Las variaciones en la carga aerodinámica delantera y trasera también se pueden usar para alterar las características de manejo al tomar curvas de alta velocidad. Aumentar la carga aerodinámica en la parte frontal permite aumentar la adherencia de las ruedas delanteras, lo que aumenta la capacidad de sobreviraje; mientras que una carga aerodinámica mayor en la parte trasera tiene el efecto opuesto: aumentar el subviraje. Este tipo de ajustes puede hacer una gran diferencia en circuitos veloces.



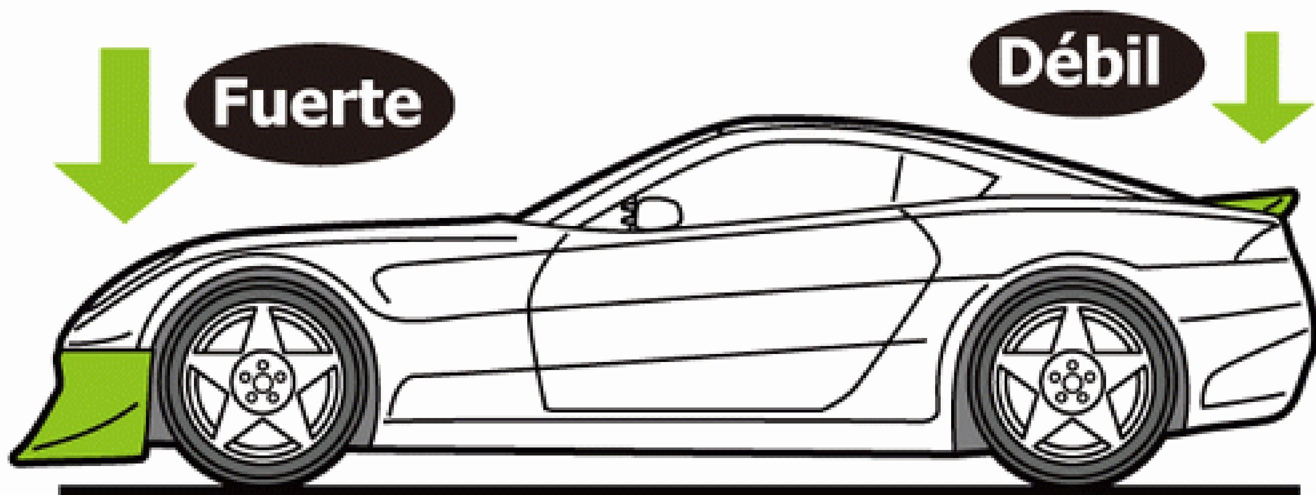

Aumenta la velocidad máxima

Disminuye el control



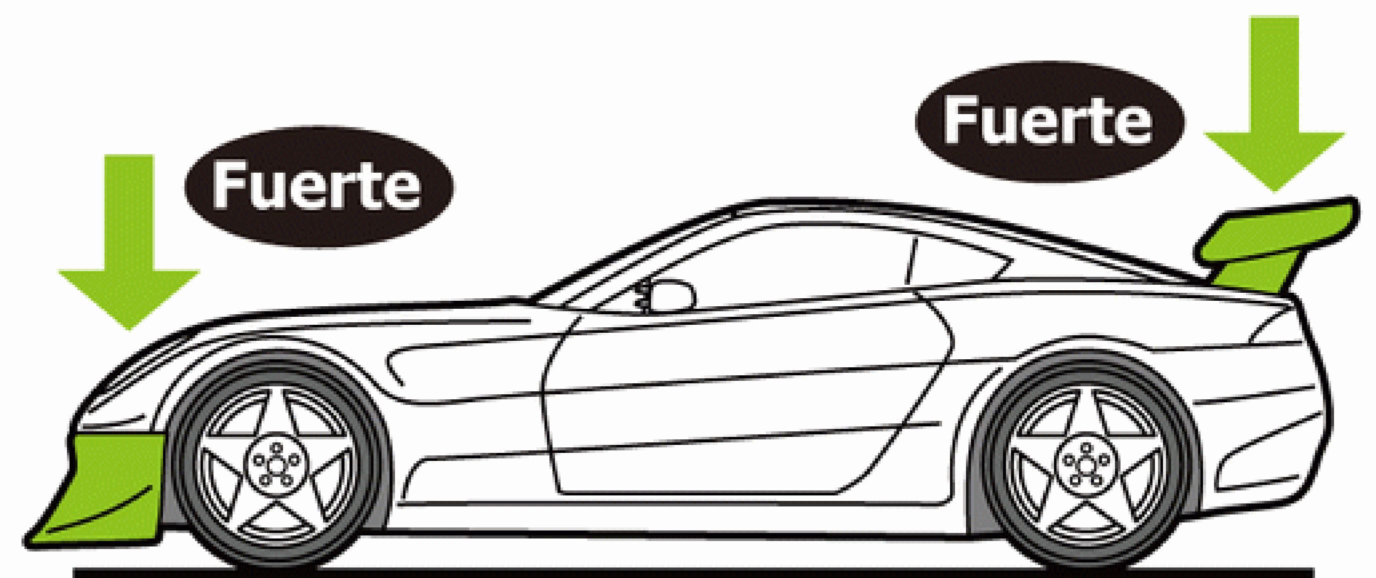

Disminuye levemente la velocidad máxima

Tendencia al subviraje




Aumenta levemente la velocidad máxima

Tendencia al sobreviraje




Disminuye la velocidad máxima

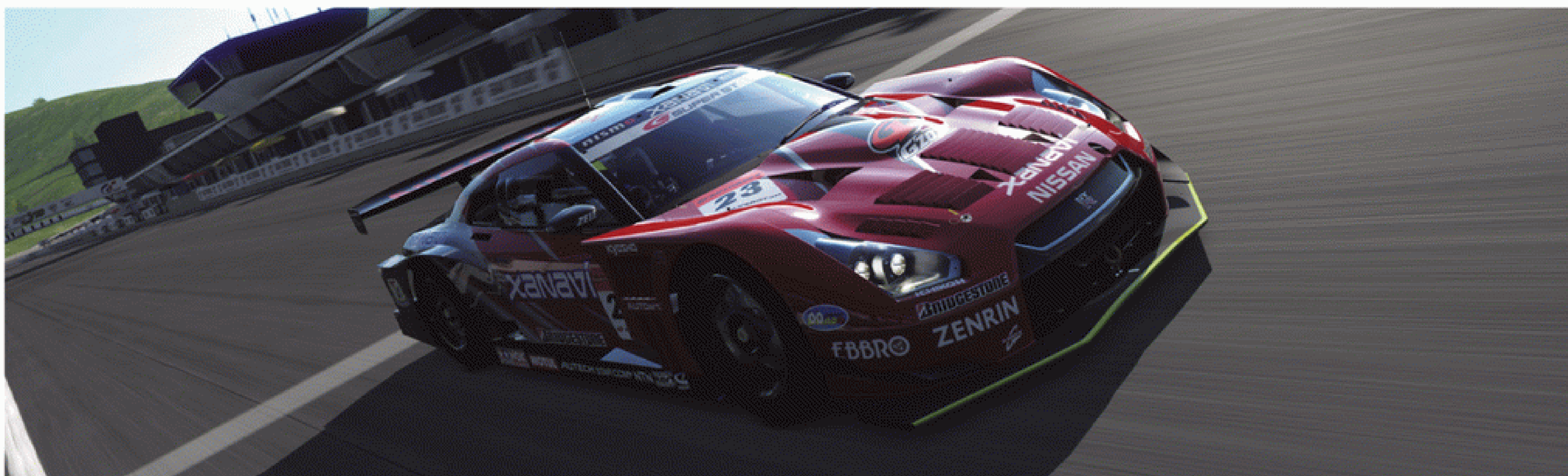
Aumenta el control

SITUACIONES

CAPÍTULO 03 Modificación y ajustes

# Ajustes para situaciones específicas

**Un motivo muy importante para ajustar las configuraciones de tu auto es afrontar condiciones específicas o circuitos específicos. Unos pocos cambios rápidos en la suspensión y en el tren de transmisión pueden hacer una gran diferencia en la manera en que tu auto se adapta a una pista en particular.**




## Circuitos de alta velocidad

### Mejorar la velocidad máxima

Las configuraciones ideales para un circuito de alta velocidad son las que permiten que el auto tome las curvas veloces con la mayor velocidad posible. La suspensión y los amortiguadores deben estar firmes, y la distancia entre la carrocería y el suelo debe ser poca. Sin embargo, si esta distancia es tan corta que los amortiguadores no se pueden mover lo suficiente, será muy difícil para la suspensión absorber el impacto de las irregularidades y ondulaciones de la pista, lo que elimina cualquier efecto positivo. Si utilizas resortes de suspensión duros, reducir la rigidez de las barras estabilizadoras creará un ligero balanceo que mantendrá un mejor contacto de las ruedas con el suelo. Si, por el contrario, aflojas los resortes un poco porque la superficie de la pista es irregular, ajustar las barras estabilizadoras ayudará a combatir un balanceo excesivo. Básicamente, la idea es que las barras estabilizadoras compensen las deficiencias de los resortes.

La alineación de las ruedas también es importante. Aumentar el ángulo de convergencia trasero es una buena manera de mejorar la estabilidad. La curvatura debe ser al menos levemente negativa, pero también es necesario que la mayor parte posible del neumático esté en contacto con la pista al conducir a gran velocidad en las rectas y cuando se frena bruscamente, de modo que no es bueno que la curvatura sea demasiado grande.

En cuanto a la relación de las marchas, el objetivo es el mismo de siempre: mantener el auto dentro de la curva de potencia lo máximo posible. La última marcha debe establecerse en una relación que permita que la marcha más alta alcance apenas la línea roja al final de rectas largas. En cuanto a la carga aerodinámica, debes utilizar la mínima posible a fin de maximizar la velocidad en las rectas, pero debes asegurarte de no perder estabilidad al tomar curvas y frenar.

### Configuraciones de suspensión recomendadas

| | | DELANTERA | TRASERA |
|---|---|---|---|
| Distancia entre el suelo y la carrocería | | Baja | Baja |
| Amortiguadores | Extensión | Fuerte | Fuerte |
| | Compresión | Fuerte | Fuerte |
| Índice de rigidez | | Dura | Dura |
| Alineación de las ruedas | Ángulo de convergencia | 0 | Hacia dentro |
| | Ángulo de curvatura | Negativo | 0 |
| Barra estabilizadora | | Dura | Dura |

※ Según el auto, tal vez estas configuraciones no sean posibles.

# Obtener el mejor rendimiento




## Circuitos técnicos

### Transferir eficazmente potencia a la pista

Para un circuito técnico con muchas curvas cerradas, el objetivo es preparar un auto que pueda doblar rápidamente y tenga la capacidad de acelerar a la salida de las curvas con una pérdida de potencia mínima. Lo primero que se debe hacer es establecer la distancia entre carrocería y suelo apropiada para el circuito, la cual debe ser lo más corta posible sin que se produzcan problemas.

Los resortes delanteros se deben aflojar y los traseros se deben endurecer (con moderación en autos con tracción trasera) a fin de tomar mejor las curvas, y los amortiguadores se deben ajustar teniendo en cuenta el mismo objetivo. Con respecto a la alineación, las ruedas delanteras se deben configurar con un ligero ángulo de curvatura si el piloto desea priorizar la respuesta inicial en las curvas, pero con un ángulo menor si el énfasis está más en la sensación de conducción en la trayectoria ideal y más allá de esta. La curvatura negativa se debe usar con moderación, ya que se debe mantener la tracción al frenar y tomar curvas.

La transmisión debe configurarse con una relación corta para mantener las revoluciones en lugar de priorizar la velocidad máxima, y la relación final de las marchas debe ser baja para permitir una rápida aceleración.

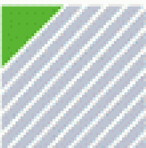
Si es posible realizar una puesta a punto completa del motor, el enfoque debe estar en alcanzar un par máximo a velocidades baja y media, a fin de aumentar la aceleración en la salida de las curvas, en lugar de en alcanzar la máxima potencia a altas revoluciones. La carga aerodinámica en la parte delantera y trasera debe ser la mayor posible, ya que la aerodinámica del auto debe ayudar a mantener la estabilidad al tomar curvas, en lugar de aumentar la velocidad máxima.

### Configuraciones de suspensión recomendadas

| | | DELANTERA | TRASERA |
|---|---|---|---|
| Distancia entre el suelo y la carrocería | | Baja | Alta |
| Amortiguadores | Extensión | Fuerte | Débil |
| | Compresión | Fuerte | Débil |
| Índice de rigidez | | Dura | Débil |
| Alineación de las ruedas | Ángulo de convergencia | 0 | Hacia dentro |
| | Ángulo de curvatura | 0 | 0 |
| Barra estabilizadora | | - | - |

※ Según el auto, tal vez estas configuraciones no sean posibles.





# Contrarrestar el subviraje

## Comprender por qué el auto se niega a doblar

Comienza por identificar cuándo se produce el subviraje, si al entrar en una curva, cerca del punto medio de la trayectoria ideal o cuando aceleras al salir de la curva.

Si el subviraje se produce al entrar en una curva, se debe aumentar la adherencia de los neumáticos delantero lo máximo posible. Esto se puede lograr aflojando los resortes delanteros de la suspensión y aumentando el lado de extensión del amortiguador, mientras se reduce para la compresión por resorte a fin de hacer que la carga se mueva hacia delante.

Además de factores relacionados con la suspensión, un diferencial de desplazamiento limitado (LSD) demasiado sensible también puede producir subviraje en esta parte de la curva, por lo que reducir el índice de bloqueo y el par inicial del LSD puede ayudar a solucionar este problema. Si utilizas un LSD de dos vías (uno que produce efecto si el acelerador se presiona o no) en un auto con tracción trasera, prueba con un sistema de 1 vía que no produzca efecto cuando desaceleres. En circuitos con curvas veloces, aumentar la carga aerodinámica en la parte frontal para mejorar la adherencia de las ruedas delanteras también puede ser eficaz.

Si el subviraje ocurre cuando el auto se acerca al punto medio de la trayectoria ideal, se debe aumentar la curvatura negativa a fin de asegurar que una mayor parte del neumático entre en contacto con el suelo. Reducir el ángulo de convergencia de las ruedas traseras puede ayudar a equilibrar la adherencia y, si es posible, aumentar el ancho de vía en la parte frontal también puede ser eficaz.

Si el subviraje ocurre en autos con tracción trasera al acelerar a la salida de las curvas, se puede contrarrestar disminuyendo la distancia entre la carrocería y el suelo en la parte delantera, y aumentando la fuerza de amortiguación para extensión en los amortiguadores delanteros y para compresión en los traseros. Si ocurre en autos con tracción delantera y motor delantero, se puede contrarrestar aumentando el efecto del LSD.

## Configuraciones de suspensión recomendadas

| | | DELANTERA | TRASERA |
|---|---|---|---|
| Distancia entre el suelo y la carrocería | | Baja | Alta |
| Amortiguadores | Extensión | Fuerte | Fuerte |
| | Compresión | Débil | Fuerte |
| Índice de rigidez | | Débil | Dura |
| Alineación de las ruedas | Ángulo de convergencia | Hacia dentro | 0 |
| | Ángulo de curvatura | Negativo | 0 |
| Barra estabilizadora | | Débil | Dura |

※ Según el auto, tal vez estas configuraciones no sean posibles.



# Contrarrestar el sobreviraje

## El problema de las tracciones traseras

Los autos de tracción y motor delanteros y los de tracción integral sufren con muy poca frecuencia el sobreviraje. Este problema afecta casi exclusivamente a los autos de tracción trasera.

Si tu objetivo es simplemente controlar por completo el sobreviraje, p. ej., para un evento de drifting, debes hacer más rígidas las suspensiones delantera y trasera a fin de controlar mejor cuánto derrapa la parte trasera. Sin embargo, en una prueba contrarreloj o un evento de carreras similar, deberás tomar medidas para mantener la tracción y hacer que el auto siga avanzando.

La razón principal del sobreviraje no deseado es la pérdida de tracción trasera cuando se aplica el acelerador, lo que hace que se desperdicie potencia y el auto se mueva de costado, en lugar de acelerar.

Para contrarrestar este efecto, puedes modificar el índice de rigidez y la fuerza de amortiguación. Debes hacer que los resortes traseros estén más blandos, y debes reducir el índice de amortiguación de los amortiguadores para compresión y aumentarlo para extensión. También puede ser ventajoso reducir la rigidez de la barra estabilizadora trasera a fin de aumentar el desplazamiento de la carga hacia el interior de la rueda. Si es posible, también debes aumentar el ancho de vía trasero. Si la suspensión delantera está demasiado blanda, el peso de la parte trasera se puede desplazar hacia delante con mucha facilidad, por lo que debes endurecer la suspensión delantera para mejorar la adherencia en la parte trasera.

Si el auto tiene un alerón trasero, debes aumentar el ángulo de este para aumentar la carga aerodinámica. Sin embargo, esto hará que pierdas un poco de velocidad final.

## Configuraciones de suspensión recomendadas

| | | DELANTERA | TRASERA |
|---|---|---|---|
| Distancia entre el suelo y la carrocería | | Alta | Baja |
| Amortiguadores | Extensión | Fuerte | Fuerte |
| | Contracción | Fuerte | Débil |
| Índice de rigidez | | Dura | Débil |
| Alineación de las ruedas | Ángulo de convergencia | - | Hacia dentro |
| | Ángulo de curvatura | - | Negativo |
| Barra estabilizadora | | - | Débil |

※ Según el auto, tal vez estas configuraciones no sean posibles.




# Suelo mojado

## Mejorar el rendimiento de los neumáticos

Como debes suponer, cuando llueve, el coeficiente de fricción (μ) de la superficie del suelo se reduce y, al mismo tiempo, se reduce la adherencia. Veamos algunos ajustes que puedes realizar para afrontar mejor los suelos húmedos.

El índice de rigidez, la fuerza de amortiguación y la rigidez de la barra estabilizadora deben ser menores que en suelos secos y, en algunos casos, es posible quitar por completo la barra estabilizadora trasera. Con una suspensión dura, para las ruedas es más difícil permanecer en contacto con el suelo, y el auto puede deslizarse de repente. La suspensión dura mejora la adherencia cuando la adherencia de la pista es buena, pero en pisos mojados, donde la adherencia es mala, cuanto más blanda sea la suspensión, mejor. El ángulo de curvatura debe ser un poco menor que en condiciones de piso seco a fin de asegurar que una mayor parte de los neumáticos se mantenga en contacto con el suelo durante la aceleración y la desaceleración. En los autos donde se pueden realizar ajustes aerodinámicos, se debe aumentar la carga aerodinámica delantera y trasera para maximizar la adherencia.

Uno de los ajustes más simples para suelos húmedos es ajustar la presión de los neumáticos. Cuando llueve mucho, aumentar la presión de los neumáticos hará que una menor superficie de los neumáticos esté en contacto con el suelo, lo que aumenta la carga sobre la parte del neumático que toca el suelo y, por lo tanto, evita el hidroplaneo. Por el contrario, si llueve poco, reducir la presión de los neumáticos puede mejorar el rendimiento. Alterar la presión de los neumáticos delanteros y traseros es una manera rápida y fácil de ajustar la adherencia que ellos logran y, generalmente, es uno de los primeros ajustes que se realizan.

Si es posible realizar una puesta a punto completa del motor, el enfoque debe estar en alcanzar un par bajo a medio, en lugar de una potencia máxima. Utilizar más dispositivos de control electrónico también puede mejorar el rendimiento en suelos húmedos y es posible que te sorprenda cuánta diferencia puede hacer un sistema electrónico de control de frenado.

## Configuraciones de suspensión recomendadas

| | | DELANTERA | TRASERA |
|---|---|---|---|
| Distancia entre el suelo y la carrocería | | Baja | Baja |
| Amortiguadores | Extensión | Débil | Débil |
| | Compresión | Débil | Débil |
| Índice de rigidez | | Débil | Débil |
| Alineación de las ruedas | Ángulo de convergencia | Hacia dentro | Hacia dentro |
| | Ángulo de curvatura | Negativo | Negativo |
| Barra estabilizadora | | Débil | Débil |

※ Según el auto, tal vez estas configuraciones no sean posibles.




# Grava

## Mejorar el control

Lo más importante en el momento de poner a punto un auto para conducir sobre grava es permitir un control flexible. A menudo, el estado de las superficies no pavimentadas es impredecible y alterar tu línea de conducción por lo menos levemente puede llevarte a áreas con un coeficiente de fricción completamente diferente. Además, los autos levantan arena, polvo y grava en su camino, lo que cambia por completo la naturaleza de la superficie del camino para los vehículos que vienen detrás. Si se pone a punto un auto solamente para alcanzar el límite de su rendimiento, como se hace en las pistas pavimentadas, no tendrá la flexibilidad necesaria para afrontar cambios repentinos en la superficie del camino.

Una manera de poner a punto el auto para este tipo de superficies es buscar una configuración que haga que la parte delantera del auto gire cuando el piloto quita el pie del acelerador, pero que la dirección sea neutra (es decir, sin sobreviraje ni subviraje) cuando pisa el acelerador. Esto es lo que se llamaría una configuración de "sobreviraje", que permite controlar hasta cierto punto el viraje mediante la aceleración. Se puede lograr usando un LSD de dos vías y ajustando el balance de potencia de frenado entre la parte delantera y la trasera.

Las medidas para contrarrestar el subviraje y el sobreviraje se pueden tomar en caminos de grava y en caminos pavimentados. La distancia entre la carrocería y el suelo depende totalmente de la superficie del suelo; aunque siempre es mejor que sea corta, los baches, las rocas y otras obstrucciones presentan un mayor riesgo de dañar el auto. En circuitos con saltos, la aerodinámica debe ser equilibrada de modo que el auto mantenga una buena posición en el aire. Los motores se deben configurar para obtener una respuesta máxima, en lugar de una potencia máxima.

En general, para lograr una buena velocidad sobre grava, se necesitan las mismas técnicas de conducción que sobre pavimento.

## Configuraciones de suspensión recomendadas

| | | DELANTERA | TRASERA |
|---|---|---|---|
| Distancia entre el suelo y la carrocería | | Alta | Alta |
| Amortiguadores | Extensión | Fuerte | Fuerte |
| | Compresión | Fuerte | Fuerte |
| Índice de rigidez | | Rígida | Rígida |
| Alineación de las ruedas | Ángulo de convergencia | Hacia dentro | 0 |
| | Ángulo de curvatura | Negativo | Negativo |
| Barra estabilizadora | | Débil | Rígida |

※ Según el auto, tal vez estas configuraciones no sean posibles.

1,5 VÍAS 145
2 VÍA 145

A
Aceite del motor 129
Aerodinámica 165
Alerón lateral 155
Alta compresión 134
Altura de conducción 158
Amortiguadores 150
Ángulo de convergencia 161
Árbol de levas 133
Árbol de levas de gran desnivel 133
Árboles de transmisión livianos 143
Aumento de la cilindrada 130

B
Bajo perfil 153
Balanceo 131
Barras estabilizadoras 151
Bujías incandescentes 128

C
Cabeza de suspensión 146
Calibres 149
Cámara de combustión 134
Carga aerodinámica 154, 165
Circuitos de alta velocidad 166
Circuitos técnicos 167
Cómo aumentar el tamaño de las turbinas 137
Cómo aumentar la compresión 134
Cómo evitar el desgaste de los frenos 148
Compresión de los resortes [fuerza de amortiguación] 159
Compuesto 153
Condiciones de suelo húmedo 170
Contrarrestar el sobreviraje 169
Contrarrestar el subviraje 168
Convergencia 161
Culata de cilindro 135

D
Disco y cubierta 142
Discos de frenos grandes 149
Dispositivos de admisión forzada 136
Distribución de peso 156
Divergencia 161

E
Elevación de la parte interior de las ruedas 162
Elevar el índice de compresión 135
Extensión [fuerza de amortiguación] 159

F
Fijar los sellos 139
Filtro de aire 129
Fuerza de amortiguación 159

G
Golpeteo [combustión incorrecta] 134
Grava 171

H
Hidroplaneo 170

I
Incremento de carrera 130
Índice de elasticidad 158
Intercooler 137

L
LSD (diferencial de desplazamiento limitado) mecánico 144

M
Modificación aerodinámica 15
Modificación del par inicial 145

N
Neumáticos semicompetitivos 153
Neumáticos sin dibujo 152

P
Par inicial 168
Pastillas de frenos 148
Patrón de banda de rodamiento 153
Peralte negativo 160
Presión de carga 136
Puesta a punto 130

R
Reducir el peso (carrocería) 147
Reducir el peso (motor) 131
Refuerzo 131
Relación corta 141, 164
Relación de marchas 164
Relación de marchas alta 140
Remolino 135
Resortes 150
Rigidez 146
Rigidez de los estabilizadores 162

S
Sistema de escape 129
Sobrealimentador 137
Soldadura por puntos 146
Suspensión de peso ajustable 150

T
Técnica de puertos de combinación 139
Turbina de alto flujo 136

U
Unidad de control del motor 128

V
Válvula 133
Volantes motores livianos 143

**Continúa en pág. 194...**

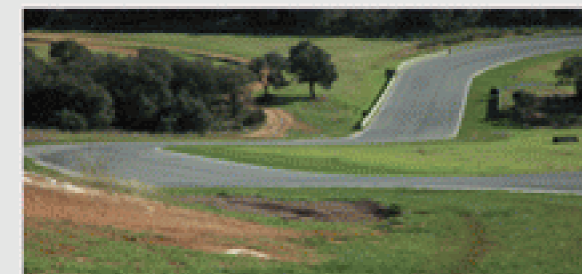

Referencia
sobre circuitos
4
La revista de Gran Turismo
Más allá de Apex
TOYOTA TOYOTA TOYOTA TOYOTA TOYOTA
WILLOW SP
TOYOTA
GOODYEAR

# Ascari, circuito completo | España






4 Peralte de 17°, Daytona



3 Eau Rouge, Spa-Francorchamps



1 Recta inicial

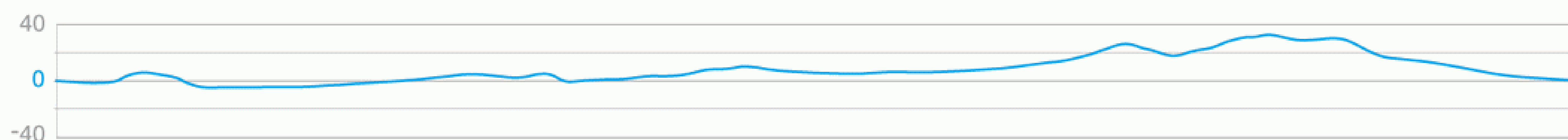
2 Copse Corner, Silverstone





Se ha prestado atención para preservar el paisaje natural, incluso en la pista. Los cordones son de color natural en lugar de llevar el rojo y blanco acostumbrados.

| Longitud total: 5,425 m | Diferencia de elevación: 38.56 m | Recta más larga: 470 m | Cantidad de curvas: 26 |
| --- | --- | --- | --- |





# Ascari, circuito completo

## La pista de carreras más larga de España, con varias curvas desafiantes

La pista recibió su nombre del legendario ex campeón de F1, Alberto Ascari. Es el elemento central del Ascari Race Resort; una instalación automovilística completa para aficionados que se encuentra a diez minutos de Ronda, una ciudad histórica del sur de España y famosa por su plaza de toros. Las 26 curvas de la pista se dividen en 13 hacia la derecha y 13 hacia la izquierda, por lo que la distribución es muy equilibrada y de naturaleza bastante técnica. El diseño de la pista ofrece curvas similares a "Eau Rouge", de Spa, y "Copse", de Silverstone.

## Información Un servicio de banquete para complejos automovilísticos, para los amantes de los autos de aficionados

Como el nombre "Race Resort" lo denota, el concepto de estas instalaciones se distingue del de otros circuitos. Para mantener la pureza del paisaje, no existen edificios altos, como una torre de control. En la actualidad no se realizan carreras aquí y solo se permite ingresar en las instalaciones a los miembros del club. Este tipo de exclusividad propicia eventos de pruebas y de prensa para los fabricantes de autos.



Rasgo típico de los complejos del sur de Europa, las paredes exteriores de los edificios de las instalaciones son todas blancas. Junto al restaurante, se encuentra una piscina que ofrece una vista completa de la pista. Aquí podrás experimentar una escapada automovilística que ningún otro circuito puede ofrecer.




Desde el aeropuerto de Sevilla, conduce por Sevilla en dirección al sur por la A-376; luego toma la A-375, la A-384 y la A-367 hasta llegar a Ronda. La pista se encuentra a diez minutos de Ronda y el tiempo total de conducción es de 1,5 h. También es posible acceder a la pista desde el aeropuerto de Gibraltar.

## Lista correspondiente

| | | |
|---|---|---|
| 1 | Recta inicial | La recta que determina la trayectoria ideal. Esta recta finaliza con una chicana. |
| 2 | Copse Corner, Silverstone | Esta sección recibe su nombre de la famosa curva de Silverstone. Aunque no se trata de un duplicado exacto, la característica de alta velocidad de esta curva es idéntica. |
| 3 | Eau Rouge, Spa-Francorchamps | Una serie rítmica de curvas con subidas y bajadas. Esta sección se asemeja mucho a "Eau Rouge" de Spa-Francorchamps. |
| 4 | Peralte de 17°, Daytona | Esta sección de alta velocidad se inspira en la curva gradual con peralte de Daytona, que se caracteriza por su peralte descabellado de 17 grados. |

# Brands Hatch | Reino Unido

N

7 Brabham Straight

1 Paddock Hill Bend

2 Druids Bend

3 Hawthorn Hill

4 Dingle Dell

5 Stirling's Bend

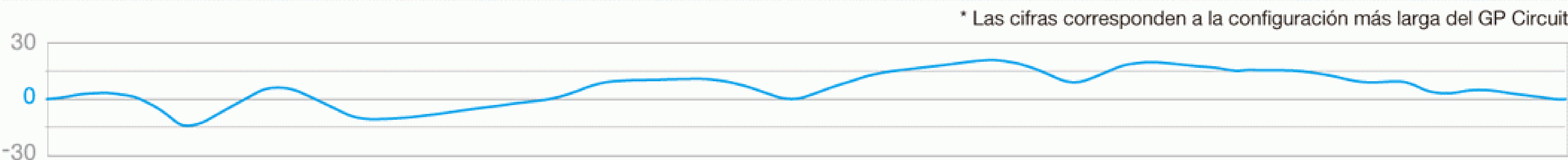
6 Clark Curve

Indy Circuit

GP Circuit

| Longitud total: 3,916 m | Diferencia de elevación: 35 m | Recta más larga: 475 m | Cantidad de curvas: 9 |
|---|---|---|---|

* Las cifras corresponden a la configuración más larga del GP Circuit



# Brands Hatch

## Un circuito técnico con una historia muy arraigada y muchísimas ondulaciones.

Situado en Kent, aproximadamente a 30 km al sudeste de Londres, Brands Hatch está rodeado por la hermosa campiña inglesa. En Brands Hatch se han realizado carreras de autos desde 1950. Es un desafiante circuito de alta velocidad, con engañosas curvas de velocidad media a alta, muchísimas subidas y bajadas, y un ancho de pista reducido. Tiene dos trazados: el GP Circuit que atraviesa el bosque profundo y el Indy Circuit, que tiene un atajo desde la curva 4 llamada “Surtees” hasta la última curva, apodada “Clark Curve”.

## Información — Para los aficionados británicos del automovilismo, este lugar es el “centro” del automovilismo británico.

En cada sección de Brands Hatch, se rinde homenaje a pilotos británicos legendarios... una dedicatoria adecuada, ya que esta pista ha desempeñado un papel esencial en la historia del automovilismo británico. Muchas batallas han tenido lugar en esta pista y muchos pilotos aún llaman hogar a este lugar.



Paddock Hill Bend se colma de eventos de hospitalidad durante la semana de carreras, aunque cuando no hay eventos, a menudo recibe a una gran cantidad de pilotos locales jóvenes y mayores, testimonio de que el concepto de la afición a los autos no conoce límites de edad y es verdaderamente universal.




El viaje de la estación Victoria de Londres a la estación Swanley es de aproximadamente una hora. La distancia del centro de la ciudad de Swanley a la pista de carreras es de 8 km, y el acceso es sencillo en autobús o taxi.

## Lista correspondiente

| | | |
|---|---|---|
| 1 | Paddock Hill Bend | La Brabham Straight sube y luego cae cuesta abajo hacia la primera curva, sección para la cual se necesitan habilidades y coraje. |
| 2 | Druids Bend | Se llega a esta horquilla tras descender y ascender nuevamente después de la primera curva. Se trata de una curva que se debe tomar completamente a ciegas y ocasiona muchos choques. |
| 3 | Hawthorn Hill | Esta recta cuesta abajo atraviesa el bosque y es el punto de sobrepaso más indicado del circuito. |
| 4 | Dingle Dell | Esta es una curva de velocidad muy alta. Dominar esta sección es un desafío, ya que la salida se realiza a ciegas y dar en el vértice es extremadamente difícil. |
| 5 | Stirling's Bend | Esta sección recibe su nombre del legendario piloto Stirling Moss. Después de pasar por aquí, la salida hacia el bosque se vuelve visible. |
| 6 | Clark Curve | Esta última curva se abre hacia la derecha. Debido a que la elevación de la entrada y la salida varía, la selección de marchas es el factor clave para sortearla correctamente. |
| 7 | Brabham Straight | La recta anterior. El peralte hacia los boxes es una característica exclusiva. |

# Circuit de Spa-Francorchamps | Bélgica

N

1 La Source

2 Eau Rouge

3 Kemmel Straight

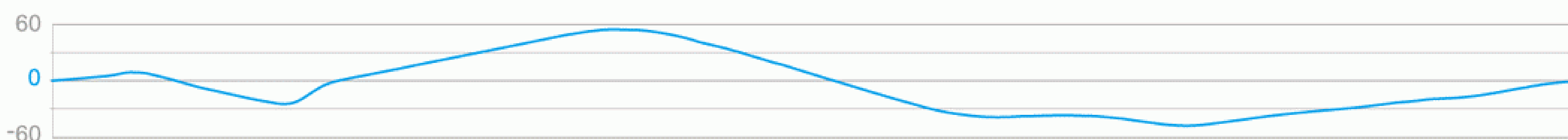
4 Les Combes

5 Pouhon

6 Blanchimont

7 Bus Stop Chicane

| | | | |
|---|---|---|---|
| Longitud total: 7,004 m | Diferencia de elevación: 104 m | Recta más larga: 751.8 m | Cantidad de curvas: 21 |



# Circuit de Spa-Francorchamps

## Un circuito técnico de alta velocidad de clase internacional con cambios de elevación dinámicos.

Spa-Francorchamps es un circuito técnico de alta velocidad de clase internacional que se ubica en Ardenas, Bélgica, cerca de la frontera con Alemania. El circuito es famoso por sus rectas largas de máxima aceleración y sus curvas de velocidad media a alta que dividen el terreno accidentado con cambios de elevación de hasta 104 m. La famosa sección de Eau Rouge es una colina empinada que define a Spa. Una drástica diferencia de altura origina condiciones climáticas inestables, lo que dio lugar al término "clima de Spa". Para ganar en Spa, generalmente se necesita suerte, además de habilidades.

## Información Aprovecha el entorno de alrededor cuando visites esta pista.

Uno de los atractivos de Spa-Francorchamps es el fondo, un paisaje montañoso pintoresco. Como el nombre lo sugiere, existen muchos spas naturales en las ciudades cercanas, lo que lo convierte en un destino popular para los turistas europeos. A apenas quince minutos en auto de la pista se ofrece una maravillosa vista de los Hautes Fagnes, totalmente diferente de la del bosque de las Ardenas.



Los humedales de los Altos Páramos (del francés: Hautes Fegnes) fueron originados por antiguos glaciares. El área es una reserva natural en la que se encuentra el punto más elevado de Bélgica. Según el clima, se pueden ver Alemania y Holanda desde aquí.




Spa se encuentra a una hora y media de tren desde la estación de Bruselas o desde la estación central de Verviers en autobús. También se recomienda viajar en auto y disfrutar de los paisajes de Bélgica, y debido a que la pista se encuentra cerca de la frontera con Alemania, también es posible acceder a Fráncfort.

## Lista correspondiente

| | | |
|---|---|---|
| 1 | La Source | El primer obstáculo es esta horquilla cerrada. Esta zona de frenado abrupto que se encuentra inmediatamente después de la largada puede generar cambios en las posiciones. |
| 2 | Eau Rouge | Las famosas curvas de alta velocidad de izquierda-derecha-izquierda de Spa con mucha fuerza G, que abren paso a un trayecto cuesta arriba. |
| 3 | Kemmel Straight | Esta es la recta más larga de esta pista. La máxima velocidad aquí se ve determinada por la pericia con que se supera Eau Rouge. |
| 4 | Les Combes | Aquí se encuentra el punto más alto del circuito. Cuando este punto se supera, aparecen secciones cuesta abajo de velocidad media a alta. |
| 5 | Pouhon | Curva de alta velocidad seguida de una sección cuesta abajo. Es importante determinar los puntos medios, ya que aquí hay una secuencia de curvas graduales. |
| 6 | Blanchimont | La sección de alta velocidad comienza a la salida de las curvas Paul Frère, que pone a prueba el coraje de los pilotos tanto como Eau Rouge. |
| 7 | Bus Stop Chicane | En esta chicana se debe reducir la velocidad aún más que en La Source. Las disputas de frenado son comunes y este punto es conocido por ser propicio para los sobrepasos. |

# Goodwood Hillclimb | Reino Unido

N



Una zona de escape después de la puerta... no existe. Necesitas capacidad y agallas para pasar por esta sección.



**2** | Molecomb Corner

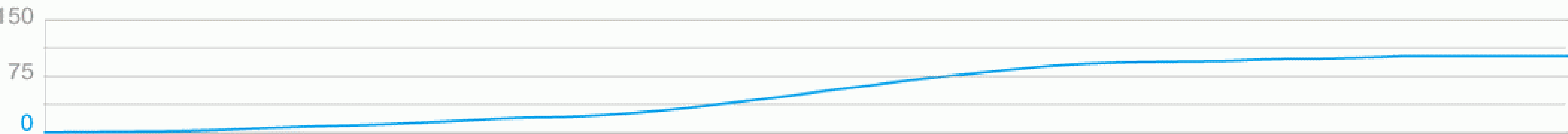


**3** | Flint Wall

**1** | Park Straight



| Longitud total: 1,867 m | Diferencia de elevación: 92.7 m | Recta más larga: 360 m | Cantidad de curvas: 9 |
|---|---|---|---|





# Goodwood Hillclimb

## El escenario de pruebas de tiempo más glamoroso del mundo.

Cada mes de julio, Inglaterra es sede de un gran festival automovilístico llamado Goodwood Festival of Speed. El evento principal es una carrera en la montaña que tiene lugar en la propiedad del conde de March. El circuito de 1,16 millas (aproximadamente 1,9 km) está delineado por barreras de pacas de paja a la antigua, atraviesa el jardín de la propiedad y tiene salida a un amplio prado. A pesar de su trazado simple, el nivel de dificultad es elevado debido a que el circuito es extremadamente angosto. El récord del circuito, de 41,6 segundos, fue establecido en 1999 por Nick Heidfeld con un McLaren MP4-13.

## Información Este es un festival automovilístico para todas las edades.

Muchos piensan que este festival está reservado para especialistas, pero en realidad todos pueden visitar el Goodwood Festival of Speed con solo comprar una entrada. Muchos llevan a sus familias, preparan una canasta de picnic y sillas plegables para disfrutar del día. Y debido a que muchos pilotos caminan ociosos por el circuito, es absolutamente posible que te encuentres con tu piloto favorito.




Los fabricantes de autos exhiben sus modelos más recientes y los históricos, pero a veces tal vez encuentres algunas rarezas como esta. Se parece a una cama, pero en realidad es un automóvil registrado cuya circulación por carreteras públicas es legal.




El trayecto desde la estación de Victoria de Londres hasta la estación de Chichester demanda 90 minutos con un transbordo. Durante los eventos, hay autobuses de traslado disponibles de la estación a Goodwood. Del punto de llegada a la pista solo hay unos pocos minutos a pie.

## Lista correspondiente

| | | |
|---|---|---|
| 1 | Park Straight | Goodwood House se puede ver desde la línea de partida, bajo los árboles que dan a la recta al aire libre. |
| 2 | Molecomb Corner | Esta curva hacia la izquierda después de la recta es gradual, pero la pista es angosta y casi no hay zona de escape. Una prueba de coraje. |
| 3 | Flint Wall | En esta sección hay curvas de izquierda a derecha que se asemejan a una chicana y una pared de ladrillo oportunamente dispuesta que hace que el viraje se deba realizar totalmente a ciegas. |

# Matterhorn | Suiza






Curva 7 de Rotenboden

3 Curva 1 de Dristelen



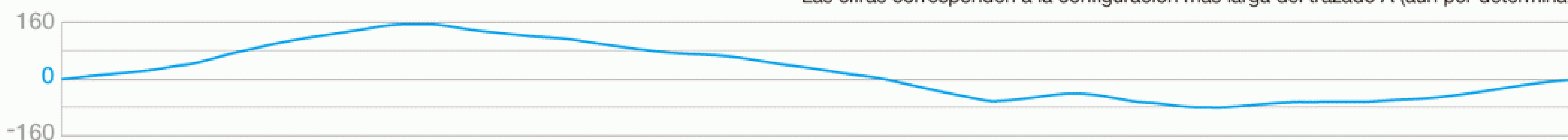
1 Curva 7 de Rotenboden

2 Curva 2 de Riffelsee

- Rotenboden
- Riffelsee
- Dristelen
- Pista corta

| | | | |
|---|---|---|---|
| Longitud total: 3,577.8 m | Diferencia de elevación: 236 m | Recta más larga: 360 m | Cantidad de curvas: 15 |

* Las cifras corresponden a la configuración más larga del trazado A (aún por determinar)



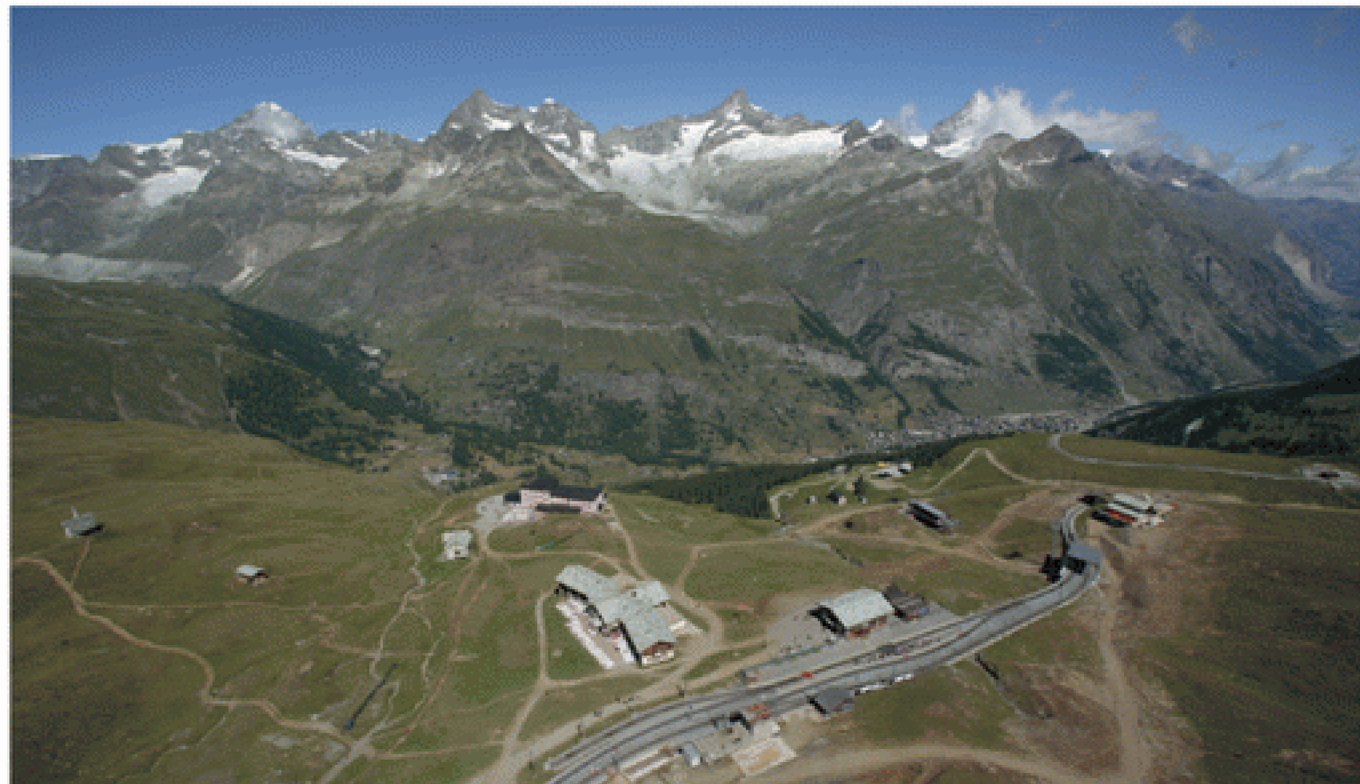
# Matterhorn

## Un circuito que desafía al majestuoso cordón montañoso de 4000 m.

Los majestuosos Alpes suizos y el intimidante pico de 4,478 m del Matterhorn sirven de fondo para este circuito original ubicado cerca de la famosa estación de Gornergrat. El circuito consta de una sección larga de máxima aceleración total y de curvas de alta velocidad que le imprimen un carácter muy técnico. Las transiciones de su sección de alta velocidad y sus curvas de baja velocidad son significativas. El circuito es en sí ancho; sin embargo, debido a que pertenece al género de montaña, existen en él muchísimas curvas ciegas y pendientes pronunciadas. Es muy diferente a los autódromos tradicionales e incluye muchísimos desafíos únicos.

## Información Una vista majestuosa del mundo más allá de los límites del bosque.

El circuito se ubica en el área de Riffelberg y Rotenboden, a mucho más de 2500 m sobre el nivel del mar. También es un punto neurálgico para los viajeros que disfrutan de los grandiosos espacios al aire libre de los Alpes. El esquí es un modo de vida en los Alpes, pero si deseas disfrutar del follaje de las altas montañas (como la Edelweiss), de los animales salvajes y de la majestuosa vista de las grandes elevaciones, te recomendamos viajar durante las temporadas de excursionismo de la primavera y del verano.



El tren Gornergrat Bahn tarda unos 30 minutos desde que comienza en Zermatt hasta Gornergrat, donde llega hasta los 1400 m. Una majestuosa vista del área circundante se puede observar desde el bosque, antes de llegar a Riffelberg.




El trayecto desde el Aeropuerto Internacional de Cointrin, de Ginebra, o desde el Aeropuerto de Zúrich, hasta la estación de Zermatt, la estación inicial de Gornergrat Bahn, demanda unas cuatro horas. Desde aquí hay aproximadamente veinte minutos hasta Riffelberg. Ten en cuenta que en Zermatt no se permite el ingreso de vehículos con motores de combustión interna.

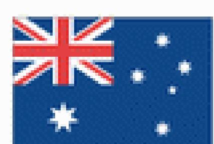
## Lista correspondiente

| | | |
|---|---|---|
| 1 | Curva 7 de Rotenboden | Esta sección cuesta abajo rodea la estación Rotenboden. Hay muchísimas curvas cerradas y se combina con ellas una curva gradual de alta velocidad para que mantengas los pies ocupados. |
| 2 | Curva 2 de Riffelsee | El final de la sección cuesta abajo se encuentra con una elevación similar a una montaña rusa en dirección a Riffelberg. |
| 3 | Curva 1 de Dristelen | Esta curva de alta velocidad se orienta hacia el Matterhorn. La clave aquí es utilizar el peralte. No dejes que la belleza del paisaje te distraiga. |

# Mount Panorama Motor Racing Circuit | Australia




| Longitud total: 6,213 m | Diferencia de elevación: 174 m | Recta más larga: 1,916 m | Cantidad de curvas: 23 |
|---|---|---|---|



# Mount Panorama Motor Racing Circuit

## Una famosa pista de carreras de Australia que se emplaza sobre carreteras públicas.

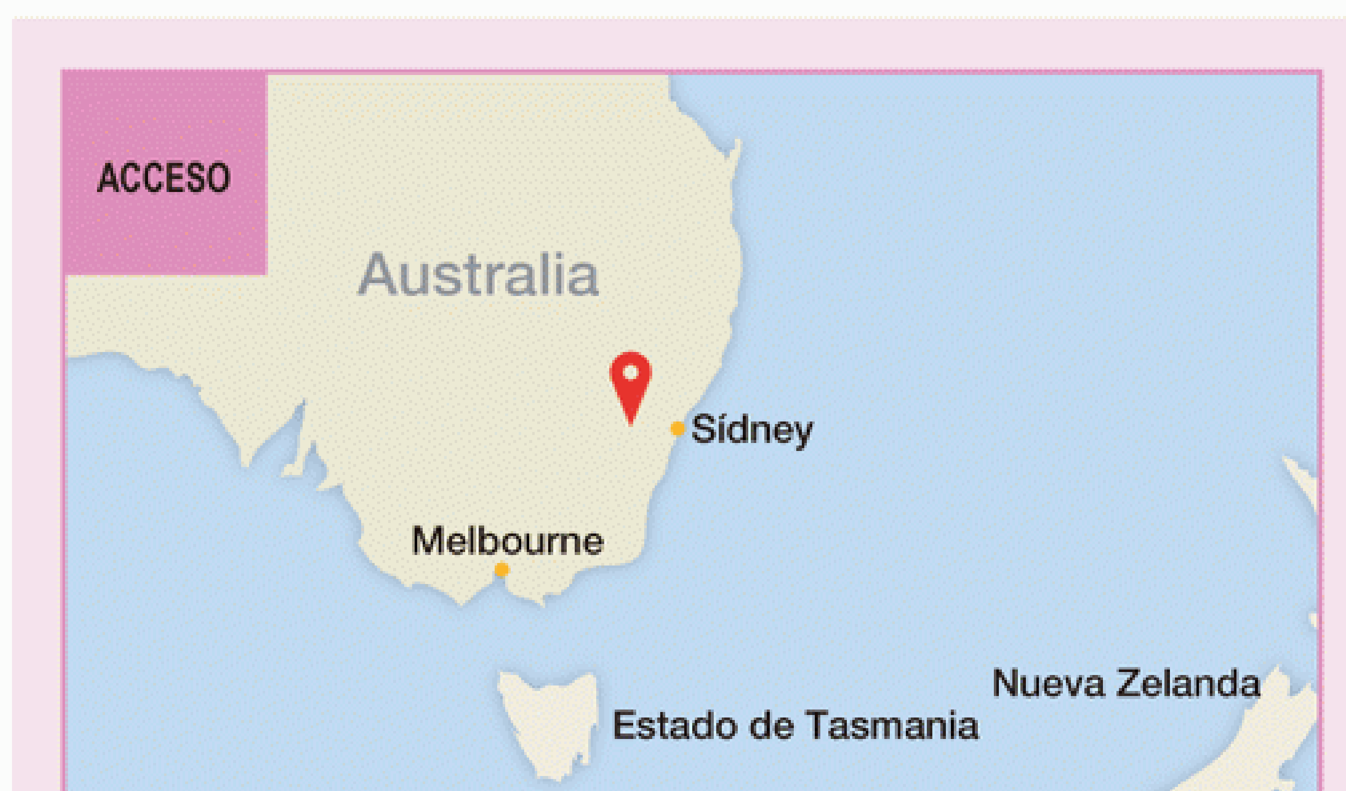
En Bathurst, situada en Nueva Gales del Sur, Australia, se encuentra el Mount Panorama Motor Racing Circuit, conocido por los "1000 km de Bathurst" y otros eventos populares. Una característica única es que utiliza carreteras públicas y la pista recorre las colinas. Aunque hay secciones largas de máxima aceleración en la primera y última parte del circuito, las demás secciones presentan subidas y bajadas extremas y repetidas curvas ciegas. Las características engañosas del circuito son su máximo atractivo.

## Información Disfruta de los mejores paisajes en Bathurst.

Como el nombre de la pista lo sugiere, las vistas del paisaje montañoso forman parte del encanto. El circuito es utilizado normalmente como carretera pública y es el área favorita para caminar o hacer ejercicio tanto de los residentes jóvenes como de los mayores. Si conduces por aquí, controla tu velocidad, ya que el límite normal es de 60 km/h y la policía siempre busca pillar a quien lo exceda.



El área que rodea a Brock's Skyline es un sector conocido en el que se puede disfrutar de maravillosas vistas de la ciudad de Bathurst. Muchos locales visitan el área durante el día, pero se destacan las vistas nocturnas. Muchos conducen hasta aquí y se reúnen para disfrutar de las vistas nocturnas.




Se encuentra 200 km al oeste de Sídney; debes viajar por la Barrier Highway (ruta A-32) durante aproximadamente tres horas para llegar a Bathurst. Si viajas por aire, utiliza el servicio de vuelos regulares que ofrece Regional Express en Sídney para llegar al lugar en aproximadamente 50 minutos.

## Lista correspondiente

| | | |
|---|---|---|
| 1 | Hell Corner | Esta curva hacia la izquierda aparece de inmediato tras la largada. Su agudeza es la de una curva de una carretera pública. |
| 2 | Mountain Straight | Esta recta larga de máxima aceleración aparece en la primera parte del circuito. Como su nombre lo muestra, es una recta que se dirige hacia el lado de la montaña. |
| 3 | Brock's Skyline | Una sección que recibe su nombre del legendario piloto Peter Brock. La vista expansiva del lado derecho es de por sí un aspecto destacado. |
| 4 | The Dipper | Esta es la sección más difícil del circuito. La secuencia de curvas ciegas repetidas y los caminos angostos se asemejan a los de Nürburgring. |
| 5 | Forrest's Elbow | El final de la sección montañosa del circuito presenta una curva que recibe su nombre del accidente del competidor de motociclismo Jack Forrest. |
| 6 | Conrod Straight | Esta recta larga se vuelve ondulada después de una cuesta abajo pronunciada. La velocidad máxima puede superar fácilmente los 300 km/h. |
| 7 | The Chase | Esta chicana, construida para el Campeonato Mundial de Turismos de 1987, reduce drásticamente la velocidad de los vehículos cuando los pilotos se acercan a la curva final. |

# Silverstone Circuit | Reino Unido




3 | Copse Corner



2 | Wellington Straight





1 | International Pits Straight



7 | Club

4 | Curvas Maggotts, Becketts y Chapel



6 | Stowe

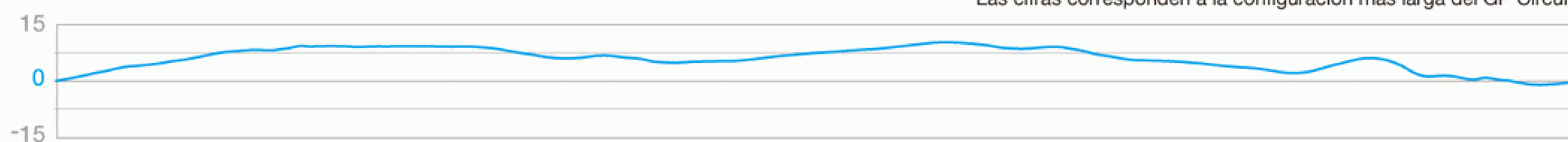
5 | Hanger Straight




National Circuit
International Circuit
GP Circuit

| Longitud total: 5,891 m | Diferencia de elevación: 11.34 m | Recta más larga: 789 m | Cantidad de curvas: 18 |
|---|---|---|---|

* Las cifras corresponden a la configuración más larga del GP Circuit.



# Silverstone Circuit

## Una pista de carreras tradicional con más de 65 años de historia.

El Silverstone Circuit fue inaugurado en 1948 en el predio de un aeródromo de la Fuerza Aérea Real. En 1950 se llevó a cabo allí el GP de Gran Bretaña, el primer Gran Premio de F1. Desde entonces, el circuito de carreras se ha considerado históricamente como la cuna del automovilismo. Las mejoras recientes en el circuito hicieron que se vuelva más técnico, pero se mantienen su reputación y los rasgos que lo distinguen como una pista de alta velocidad. Se utilizan tres trazados diferentes: el National Circuit, en el que se utiliza la sección norte, el International Circuit, en el que se utiliza la sección sur, y la combinación de ambas secciones, que da lugar al Grand Prix Circuit.

## Información — Silverstone, el original: vínculo entre lo virtual y lo real.

Desde el inicio del programa de la GT Academy, Silverstone ha sido la sede para la selección final, en la que se da al mejor jugador de Gran Turismo la oportunidad de convertirse en un piloto profesional. Seis años han transcurrido desde la primera competencia, en 2008, y desde entonces Silverstone se ha convertido en tierra sagrada para pilotos y jugadores de Gran Turismo por igual.



El escenario para las finales de la GT Academy en Silverstone. Aparte de las técnicas de conducción, se ponderan varios aspectos del potencial de los pilotos, incluidas su aptitud física, sus cualidades de liderazgo, sus capacidades de comunicación y, por supuesto, su habilidad al volante.




Toma el tren desde la estación de Euston hasta la de Northampton, trayecto que demanda aproximadamente una hora. Desde allí, necesitarás un traslado de otros 30 minutos en taxi. Ten en cuenta que durante la semana de carreras el tráfico en Silverstone se congestiona, por lo que es muy recomendable contar con mucho tiempo para llegar.

## Lista correspondiente

| | | |
|---|---|---|
| 1 | International Pits Straight | Tras la implementación de mejoras, esta se ha convertido en la recta anterior. Ante los ojos se encuentra el nuevo paddock de hospitalidad: "Silverstone Wing". |
| 2 | Wellington Straight | Esta recta nueva fue otro producto de las mejoras recientes. Al final se encuentra una curva cerrada que resulta ideal para los sobrepasos. |
| 3 | Copse Corner | Tras los cambios realizados en la trayectoria de giro ideal, esta curva de velocidad superalta ahora tiene una velocidad de entrada aún mayor. Los corredores deberán hacer su mejor esfuerzo para pasarla a la máxima velocidad. |
| 4 | Curvas Maggotts, Becketts y Chapel | Se dice que las curvas en S consecutivas son la clave para la victoria en Silverstone. Probablemente, el nivel de dificultad aquí sea el máximo en el mundo. |
| 5 | Hanger Straight | La recta más larga del circuito de Silverstone Circuit tiene aproximadamente 800 m. El circuito también es ancho, lo que permite realizar maniobras de sobrepaso agresivas. |
| 6 | Stowe | Similar a la Copse Corner; hay una recta larga después de la curva, pero es necesario aplicar los frenos. Encontrar el vértice demanda paciencia, lo que hace que la curva sea difícil de dominar. |
| 7 | Club | Esta curva ciega tiene un leve peralte invertido. Tras las renovaciones realizadas en la pista, se convirtió en la curva final. |

# Twin Ring Motegi - Autódromo | Japón







1 Recta principal

2 Cuarta curva

3 Primera bajo el puente

4 Curva en S

5 Horquilla

6 Recta cuesta abajo

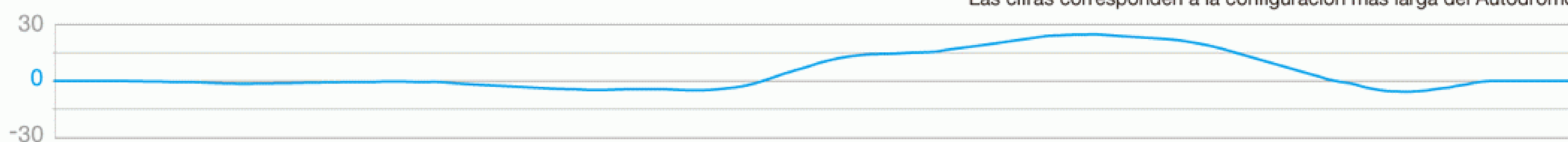
7 Victory Corner



Circuito oeste
Circuito este
Autódromo

| Longitud total: 4,801 m | Diferencia de elevación: 30.4 m | Recta más larga: 762 m | Cantidad de curvas: 14 |
|---|---|---|---|

* Las cifras corresponden a la configuración más larga del Autódromo.



# Twin Ring Motegi - Autódromo

## El segundo circuito internacional de carreras de Honda.

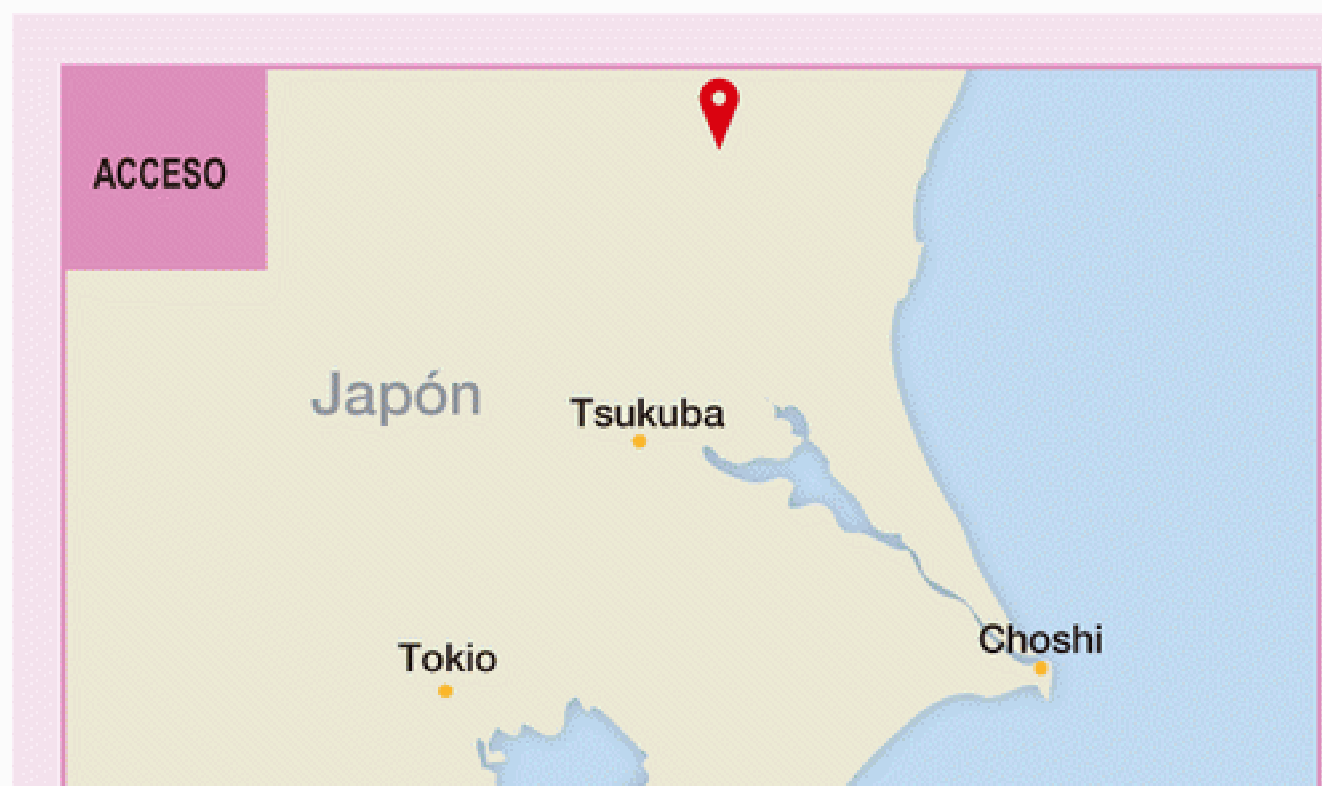
El Twin Ring Motegi - Autódromo es un circuito de carreras internacional estándar que Honda creó en 1997. Este circuito asfaltado de estilo europeo tiene una distribución de control de velocidad de tipo "stop and go" y un carácter muy diferente en comparación con el Suzuka Circuit de Honda. Gracias a los atajos, se obtienen tres trazados de circuitos: el Circuito Este, el Circuito Oeste y el más largo de todos: el Autódromo. El aspecto destacado del circuito es la recta cuesta abajo que recorre la pendiente pronunciada en dirección a la curva de 90 grados. Las técnicas de frenado que se aplican aquí son salvajes.

## Información — Un mensaje del automovilismo a quienes se vieron afectados por el gran terremoto del noreste de Japón.

El gran terremoto del noreste de Japón aún está presente en la memoria de todos. De los circuitos de carreras internacionales principales de Japón, esta es la que más cerca se encuentra de la región del desastre y fue gravemente afectada por el temblor. Pero ese mismo año se realizaron reparaciones en el circuito. Bajo el eslogan "¡Adelante, Japón!", Motegi reanudó su actividad. Desde entonces, se realizan eventos para la recuperación de manera continua y el lugar se ha convertido en un símbolo de la determinación de los japoneses para superar los efectos del desastre.




Un eslogan que cuelga de la línea de control del autódromo tiene la leyenda がんばろう! 日本, que significa "¡Adelante, Japón!", en alusión al gran terremoto del noreste del país. Al encontrarse el circuito cerca del punto de origen del lugar del desastre, estas palabras transmitieron coraje y esperanza a todos los fanáticos del automovilismo del país.




Partiendo de Tokio, la manera más conveniente de llegar a Motegi es tomar el tren bala a Utsunomiya para un viaje de unos 50 minutos. Desde allí, serán necesarios otros 90 minutos en autobús. El traslado es más rápido en taxi, aunque el costo es mucho mayor. A su vez, se genera mucha congestión durante los eventos de carreras; así que procura contar con mucho tiempo para llegar.

## Lista correspondiente

| | | |
|---|---|---|
| 1 | Recta principal | La recta anterior es la característica saliente del circuito. Hacia la parte posterior se encuentra una sección desafiante que consta de dos curvas consecutivas. |
| 2 | Cuarta curva | La combinación de curvas aquí comprende las curvas tres y cuatro. Sin embargo, el radio es mucho más cerrado. |
| 3 | Primera bajo el puente | Cerca de la 5.ª curva del autódromo, se encuentran las dos pistas de Motegi. Al ingresar en la curva, el supercircuito queda directamente arriba. |
| 4 | Curva en S | Esta curva con forma de S tiene una transición de izquierda a derecha complicada; por lo tanto, en lugar de ingresar a la máxima velocidad, la clave es hallar la menor distancia en la sección. |
| 5 | Horquilla | Debido a que esta curva se encuentra en el punto de ascenso máximo, el frenado no resulta muy difícil. Asegúrate de buscar el vértice para obtener una buena velocidad en la recta que sigue. |
| 6 | Recta cuesta abajo | La recta más larga del circuito desciende a medida que ingresa en una curva hacia la derecha. Se convierte en un punto ideal para los sobrepasos. |
| 7 | Victory Corner | Esta curva final similar a una chicana consta de dos curvas consecutivas hacia la izquierda y una hacia la derecha. |

# Willow Springs International Raceway: Big Willow | EE. UU.

N

5 Sweeper

6 Curva 9

4 Monroe Ridge

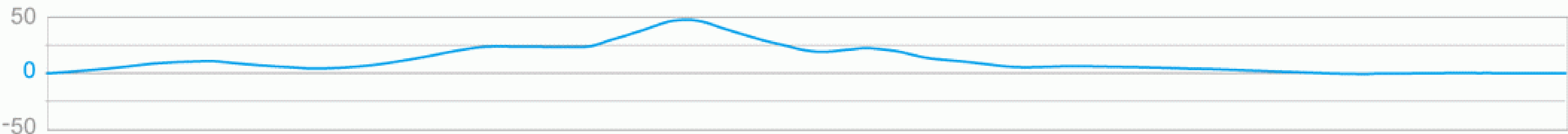
En el área del paddock, del lado izquierdo de la recta anterior se encuentra el comedor y al garaje de una escudería.

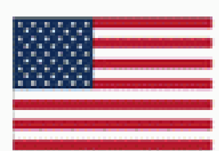
1 Castrol Corner

3 The Omega

2 The Rabbit's Ear

| Longitud total: 3,951 m | Diferencia de elevación: 50 m | Recta más larga: 756 m | Cantidad de curvas: 10 |
|---|---|---|---|





# Willow Springs International Raceway: Big Willow

**Un circuito de alta velocidad en el que se utiliza el entorno para crear ondulaciones extremas y curvas de alta velocidad.**

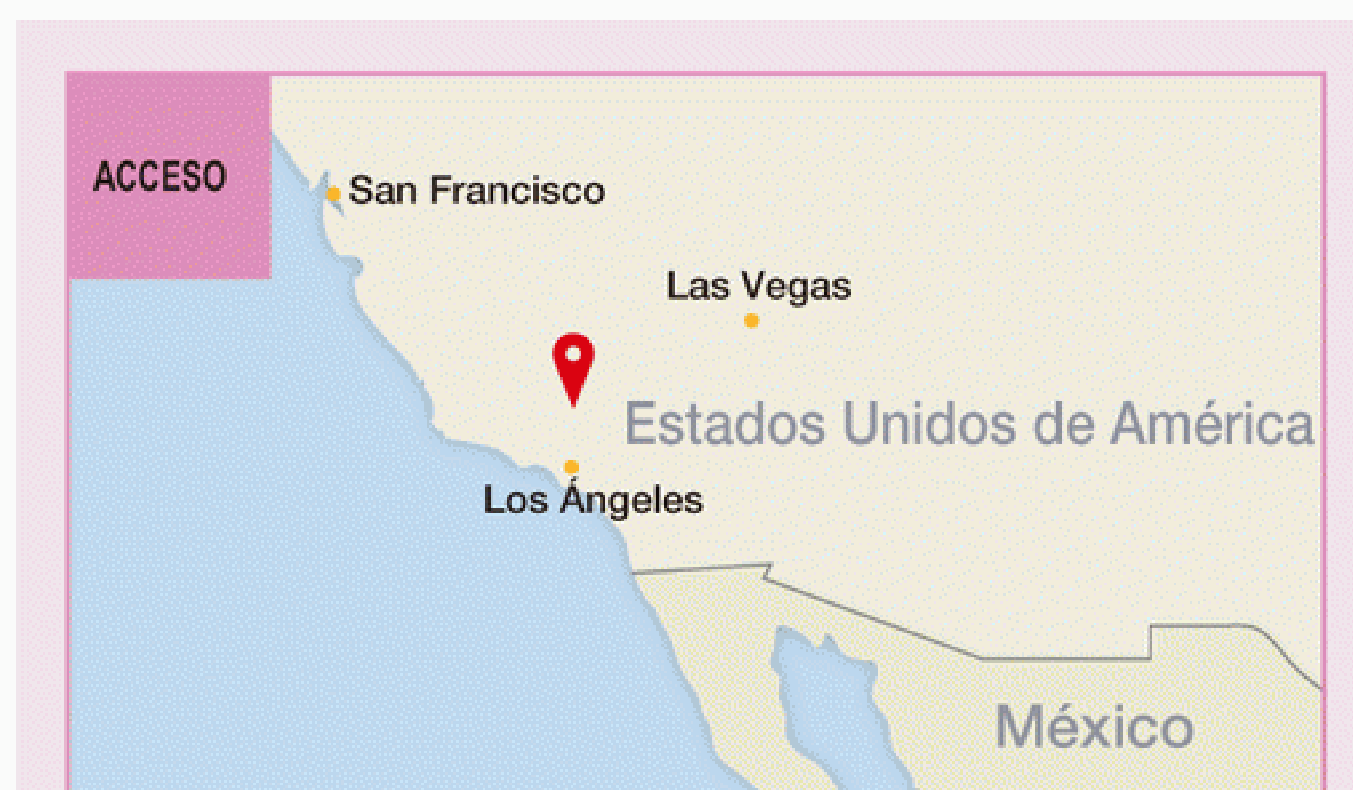
La nostálgica Willow Springs International Raceway, inaugurada en 1953, se encuentra en el desierto, cerca de Los Ángeles. Entre los numerosos circuitos que se hallan aquí, se encuentra el principal, apodado Big Willow, un autódromo de alta velocidad de 2,5 millas (aproximadamente 4 km) que se caracteriza por sus curvas de velocidad media y alta. A primera vista, el circuito parece simple, pero al incluir muchas curvas graduales largas, mantener un control preciso de la velocidad resulta difícil. Y si agregamos a la fórmula cambios de elevación severos, se obtiene como resultado la pista que probablemente cause más miedo en el país. Mantener el control absoluto del auto a alta velocidad es la clave para dominar esta pista.

## Información La tierra sagrada del automovilismo pionero de los EE. UU.

Willow Springs pertenece a una familia que también la administra y su entorno es idílico y sereno. Aunque el personal es reducido, todos son muy amistosos y serviciales. Existen varias escuderías con garajes en las instalaciones que tienen por costumbre conversar con los visitantes. Hablar de sus proyectos de autos favoritos es tema de conversación popular.



El paddock y comedor con aire acondicionado son una joya oculta y un excelente lugar para evitar el calor abrasador. La comida aquí forma parte de una carta americana típica: alimentos abundantes y deliciosos que no implicarán un golpe al presupuesto.




El medio de acceso más conveniente es el auto. Desde el Aeropuerto Internacional de Los Ángeles, dirígete hacia el norte por la I-405, toma la I-5 y conduce hasta la ruta estatal para llegar a Rosamond en aproximadamente 90 minutos. Otros 5 km y llegarás al circuito.

## Lista correspondiente

| | | |
|---|---|---|
| 1 | Castrol Corner | La curva hacia la izquierda que sigue a la recta anterior es un elemento altamente técnico de la pista. |
| 2 | The Rabbit's Ear | Como el nombre en inglés lo sugiere, esta sección tiene una forma similar a la de la oreja de un conejo. El carácter gradual prolongado de esta curva hace que determinar el punto medio adecuado sea esencial. |
| 3 | The Omega | Esta parte representa el punto medio de la sección técnica y también es la característica principal del circuito. El paisaje que se despliega a partir de la curva cuesta abajo es espectacular. |
| 4 | Monroe Ridge | La vista es parcialmente obstruida por las ondulaciones, pero adoptar la trayectoria ideal en esta curva importante te aportará velocidad en la sección de alta velocidad. |
| 5 | Sweeper | Una curva de velocidad muy alta que representa la clave para dominar esta engañosa pista. Si circulas rápido por aquí, puedes convertirte en una leyenda local entre los locales. |
| 6 | Curva 9 | La última curva. A simple vista parece simple, pero debido a su salida cerrada resulta difícil adoptar la trayectoria adecuada y mantenerse en ella. |

# Willow Springs International Raceway - Streets of Willow | EE. UU.

N

3 | The Bowl

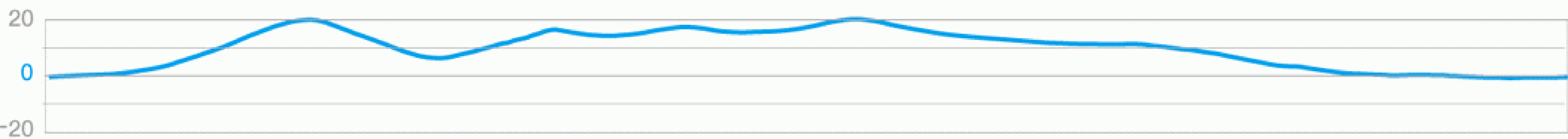
2 | Curva 4

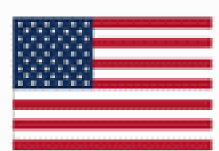
1 | Curva 2

4 | Curva 11

5 | Curva 14

| Longitud total: 2,675 m | Diferencia de elevación: 20 m | Recta más larga: 395 m | Cantidad de curvas: 14 |
|---|---|---|---|





# Willow Springs International Raceway - Streets of Willow

## Un circuito técnico con todo tipo de curvas.

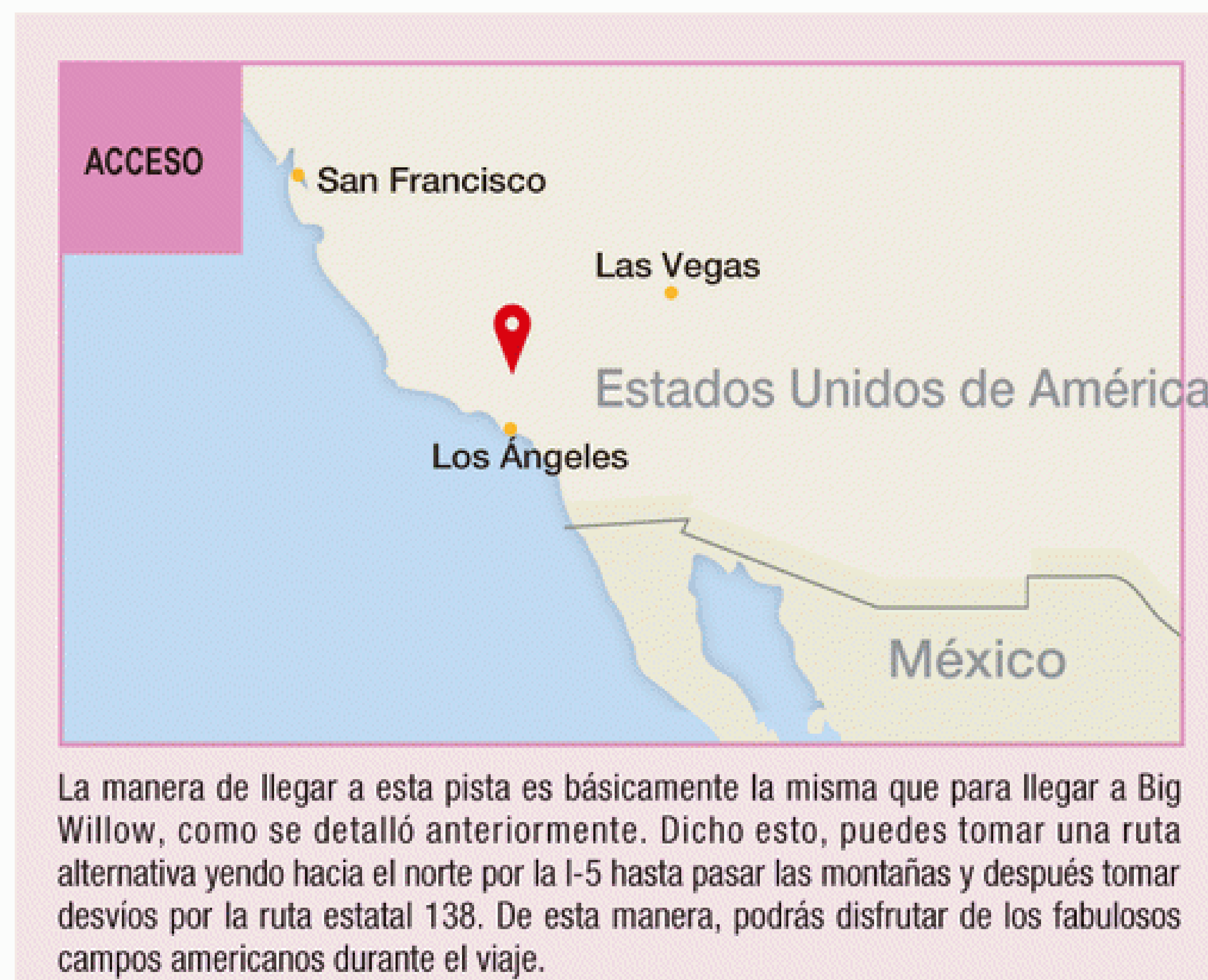
Este es un circuito corto de 1,6 millas (unos 2,6 km) y se encuentra del lado norte de Big Willow. A menudo, se utiliza como circuito de prueba y sirve como sede de varios eventos de "jornadas en la pista"; se llevan a cabo varias carreras competitivas. La distribución es muy técnica y, a excepción de dos rectas cortas en las que puedes ir a la máxima velocidad, la mayor parte de la pista consta de curvas de velocidad baja a media dispuestas una tras otra. Su longitud total es corta; no obstante, implica un desafío considerable, ya que incluye una serie de diferentes curvas, desde graduales simples hasta combinadas difíciles. Con toda su variedad de curvas, es un lugar ideal para perfeccionar tus habilidades de conducción.

## Información Una tormenta de arena en el desierto de Mojave, imagen de muchas películas de Hollywood.

Sin importar la época, el viento fuerte y la dura luz del sol del desierto recuerdan cuán brutal puede ser la madre naturaleza. En esta pista puedes comprobar la rigurosidad de los elementos. Hay tormentas de arena aquí también y las enormes nubes de arena que se aproximan de lejos representan una vista que en verdad asusta. Pero unas pocas veces al año el Mojave recibe un poco de lluvia y en los años en que las precipitaciones son considerables, las colinas que rodean la pista adoptan un tono verde vibrante, lo que hace muy diferente el paisaje.



La Willow Spring Raceway se encuentra en medio del desierto de Mojave, escenario de la película Bagdad Café. Al conducir hacia la pista, el panorama desde la autopista transmite la sensación de estar en medio de un enorme set de filmación.




La manera de llegar a esta pista es básicamente la misma que para llegar a Big Willow, como se detalló anteriormente. Dicho esto, puedes tomar una ruta alternativa yendo hacia el norte por la I-5 hasta pasar las montañas y después tomar desvíos por la ruta estatal 138. De esta manera, podrás disfrutar de los fabulosos campos americanos durante el viaje.

## Lista correspondiente

| | | |
|---|---|---|
| 1 | Curva 2 | Existe al menos un cambio de elevación de 10 metros en las primeras curvas, lo que hace que los altibajos de la pista sean bastante severos. Después de la carretera que se muestra aquí, hay una engañosa curva hacia la izquierda cuesta abajo. |
| 2 | Curva 4 | Esta parte de la pista se destaca por una horquilla cerrada cuesta arriba. La superficie de conducción aquí hace difícil mantener la estabilidad del auto. |
| 3 | The Bowl | Esta famosa curva conocida como el "tazón" presenta un peralte de 20 grados. |
| 4 | Curva 11 | Para esta curva rápida hacia la izquierda que sigue a una recta larga, asegúrate de mostrar un control de frenos parejo después de las curvas en S graduales. |
| 5 | Curva 14 | Esta curva se caracteriza por su naturaleza expansiva y se parece a una pista de pruebas gigante y funciona como tal. Para las carreras, se disponen conos a fin de que funcione como una curva "normal". |

ÍNDICE DE PALABRAS CLAVES

## Revisión: MODIFICACIONES Y AJUSTES


1 VÍA 145

A

Ajuste de precisión 128
Alerón trasero 155

B

Barra de refuerzo 147
Bujes 151

C

Cómo aumentar el tamaño de la válvula 133

D

Diferencial de desplazamiento limitado (LSD) 144
Difusor trasero 155

E

Embragues multiplato 142
Ensanchamiento 130

F

Factor de bloqueo 145

J

Jaula antivuelco 147
Junta de culata 135

L

Líquido de frenos 148

M

Mangueras de frenos 149
Motores rotativos 138
Muelle de válvula 133

P

Peralte positivo 160
Pulido de los puertos 133

R

Relación de marchas bajas 140
Relación final de las marchas 140
Relación larga 141

S

Spoiler del parachoques trasero 155
Spoiler delantero 154

T

Técnica de puertos de puente 139
Técnica de puertos periférica 139




## Más allá de Apex

**Diseño gráfico**
Eichi Abe
Yuichi Miyashita

**Ilustración técnica**
Tadao Abe

**Imágenes**
HKS Co. Ltd.
GTA Co. Ltd.
Software Cradle Co. Ltd.
Toyota Motor Corporation
Nissan Motor Co. Ltd
Fuji Heavy Industries Ltd.
Honda Motor Co. Ltd.
Mazda Motor Corporation
BMW AG
Daimler AG
International Sportsworld Communicators Ltd.



La revista de Gran Turismo
Más allá de Apex